Niveau(x) d'enseignement : 5 Numéro EDUQ : 9170493
Centre d'intérêt : 840

Larochelle, Marie.

Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences : théorie et pratique / par Marie Larochelle et Jacques Désautels. -- Montréal : Université du Québec à Montréal, Centre interdisciplinaire de recherches sur l'apprentissage, 1990.
40 f. ; 22 cm. -- (Séminaire sur la représentation ; 47)

"La publication de ce séminaire est rendue possible grâce à une subvention du fonds FCAR". Bibliogr. : f. 38-40

Vedette(s)-secondaire(s) : Désautels, Jacques • Université du Québec à Montréal. Centre interdisciplinaire de recherches sur l'apprentissage

---

Descripteur(s) : Sciences • Didactique • Epistémologie • Pratique pédagogique • Résolution de problème • Méthode d'enseignement • Secondaire (Ordre d'enseignement) • Collégial (Ordre d'enseignement)

Les préoccupations de cette recherche portent à la fois sur le procès de production du savoir scientifique (volet épistémologique) et sur celui de sa re-production par l'étudiant (volet didactique). L'auteure part du fait que, de manière générale, les élèves envisagent la résolution des problèmes scientifiques qui se présentent dans la réalité quotidienne selon le savoir commun et non pas en vertu de la problématique scientifique établie. Par exemple, 15 sur 16 élèves de secondaire, tous considérés comme excellents sujets, n'ont pas réussi à fournir une explication appropriée au fait qu'une masse de 200 g arrive au sol en même temps qu'un masse de 20 g. S'agit-il d'un problème d'apprentissage? Face à cette question, l'auteure élabore et expérimente une stratégie pédagogique, appelée stratégie de dérangement épistémologique, auprès de 35 étudiants du collégial et qui consiste à stimuler certaines conditions du savoir. L'actualisation de ces conditions dans le contexte de la simulation repose notamment sur l'utilisation du logiciel "Enigmatique" et prend la forme suivante : chaque groupe de trois étudiants forme une équipe de recherche qui dispose d'un laboratoire (micro-ordinateurs) et a pour travail d'imaginer des solutions aux problèmes générés dans les diverses situations énigmatiques proposées par le logiciel.

Type de document :

9780

CENTRE INTERDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE SUR L'APPRENTISSAGE ET LE DÉVELOPPEMENT EN ÉDUCATION

cirade

Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique

par Marie Larochelle et Jacques Désautels
Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation
Université Laval
et
Chercheur(e)s associés au CIRADE

Séminaire sur la Représentation
27 avril 1990 - no 47

CIRADE, UQAM, juin 1990

Université du Québec à Montréal

C'est un secret de polichinelle : l'apprentissage des contenus à caractère scientifique pose problème à tous les niveaux de scolarisation, depuis le primaire jusqu'à l'université et, selon certains travaux (Viennot, 1989), cela se poursuivrait même au-delà des études universitaires.

Ce problème a été abondamment illustré et commenté dans les travaux portant sur la mise au jour des conceptions dites spontanées[1] qu'élaborent les élèves à l'égard des phénomènes naturels et qu'ils maintiendront tout au long de leur itinéraire scolaire, malgré les représentations formelles qui leur sont enseignées. La recherche récente de Ruel (1990) est particulièrement éloquente sur le sujet. En effet l'auteure s'est intéressée, lors d'entrevues individuelles, aux explications que proposent des élèves du secondaire lorsqu'on laisse choir simultanément deux corps de masses différentes (l'une de 20 grammes, l'autre de 200 grammes). Seize élèves, tous considérés par leurs enseignantes comme d'excellents sujets, puisqu'ils obtenaient de francs succès aux examens, ont ainsi été interrogés. Dans un premier temps, la chercheure présentait la situation concrète à l'élève puis l'invitait à prévoir le déroulement des événements et à l'expliquer. Sauf les trois élèves qui ont fait une prévision juste (un seul pouvant en fournir une explication appropriée), tous les élèves ont fait des prévisions erronées et fondées sur une compréhension fort différente de la version établie et enseignée. En fait, de manière générale, les élèves envisageraient le problème en faisant référence au rapport force-vitesse plutôt qu'à celui de force-accélération qui caractérise l'explication newtonienne. Par ailleurs, on note également chez certains sujets l'usage indifférencié des concepts de gravité et d'accélération gravitationnelle, en plus de l'attribution aux corps en cause d'une propriété intrinsèque, soit celle de poids :

> Lui va tomber avant (le plus lourd)... Cette formule-là, je l'ai : F=mg. La gravité est de 9,8 pour les deux. Les deux sont attirés par la terre de 9,8. Les deux sont pareils, comme vous et moi, ils sont attirés de 9,8. La différence, c'est le poids. Certainement qu'il va tomber plus vite. [...] Le 200g va arriver avant le 20g. (p. 75)

Par la suite, invités à laisser choir les objets, les élèves en commentent les résultats d'une façon qui témoigne d'un embarras conceptuel : certains d'entre eux nient la valeur de leurs explications initiales, d'autres invoquent l'imprécision expérimentale mais, en tout état de cause, très peu d'entre eux peuvent fournir une explication appropriée de l'arrivée simultanée des corps au sol. Faut-il voir là le seul effet d'une pédagogie qui, en étant axée essentiellement sur la résolution des exercices en fin de chapitre, ne permet pas aux élèves de reconnaître dans la situation proposée un problème pouvant être abordé à l'aide des concepts qui jalonnent leur apprentissage des sciences? Revenons aux propos de l'élève cités plus haut. On remarque l'emploi de termes ou de formules (F=mg) qui illustrent le fait que l'élève a bel et bien été mis en

contact avec des éléments de contenu scientifique. Toutefois, sa conclusion, à l'effet que le corps le plus lourd arrive le premier, porte à croire que ces éléments ont pris relief et sens non pas en vertu de la problématique scientifique établie, mais plutôt en rapport avec celle qui fonde le savoir commun : en effet, dans les réalités quotidiennes qui échappent aux conditions idéalisées du savoir scientifique, un morceau de plomb arrive effectivement plus vite au sol qu'une plume de goéland. Qu'est-ce à dire? S'agit-il d'un simple problème d'apprentissage? Ne peut-on pas penser que les élèves, dans leurs processus d'appropriation d'un «domaine fini de sens» (Berger & Luckmann, 1986), comme le domaine du savoir scientifique, en appréhendent les phénomènes, concepts et mécanismes selon leurs habitudes d'interprétation du domaine des phénomènes, concepts et mécanismes du savoir commun, sans égard pour la nature et les finalités particulières des engagements épistémologiques qui sous-tendent ces domaines? En bref, n'y a-t-il pas également en jeu un problème de discrimination des contextes ou encore ce que l'on pourrait désigner, à la suite de Cares (1985), un problème «d'indifférenciation ontologique»?

Les travaux que nous avons effectués en relation avec l'épistémologie spontanée des adolescentiels (1990, 1989, 1987) de même que ceux auxquels nous faisons référence dans ce document sont instructifs sur le sujet et mettent en évidence l'intérêt de s'y attarder de façon plus systématique, de même que l'éventuelle fécondité de cette voie d'approche pour le renouvellement des pratiques d'éducation à la science. La recherche qui suit est une contribution à l'élaboration de cette problématique dans le domaine de même que la mise à l'épreuve, lors d'une étude concrète, de certaines composantes pédagogiques qui en découlent*

* *

Au regard du problème évoqué plus haut, nos préoccupations de recherche portent à la fois sur le procès de production du savoir scientifique (volet épistémologique) et sur celui de sa re-production par l'étudiant(e) (volet didactique)[2]. En effet, alors que l'épistémologie contemporaine nous enseigne le caractère inévitablement construit et social du savoir scientifique, les travaux en didactique des sciences révèlent la pérennité, tant chez les enseignant(e)s que chez les enseigné(e)s, d'une idée de science et des concepts qu'elle recouvre, qui est toute entière sous l'emprise de l'évidence : la science ne serait pas détachée de la sensation, ses objets d'études seraient idoines à ceux du réel usuel ou encore trouvés tout faits dans une nature habitée par un ordre immanent, et ce, grâce à des activités qui s'apparenteraient à un rituel. Quant aux concepts scientifiques, ils auraient le même caractère substantialiste, reflétant la propriété intrinsèque d'un matériau (la laine est chaude, le métal est froid) ou témoignant de l'existence concrète d'une «chose».

---

* Cette recherche a été rendue possible grâce à une subvention du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.

Les interprétations pour expliquer cet état de faits sont certes nombreuses. Quant à nous, celle dite épistémologique nous semble prometteuse pour aménager un contexte pédagogique susceptible de favoriser chez les étudiantes et les étudiants le développement d'attitudes réflexives[3] à l'égard de leurs productions de connaissance et de la production des connaissances scientifiques. Mais s'agit-il là d'un projet pertinent et faisable? Quels seront, le cas échéant, les effets d'une stratégie pédagogique conçue à cette fin, sur les représentations initiales qu'ont les étudiantes et les étudiants de ces productions et, éventuellement, sur les significations qu'ils attribuent aux produits de ces productions, tels les concepts scientifiques d'atome et de matière[4]?

L'élucidation de notre intérêt épistémologique fait l'objet du cadre théorique de la présente recherche. Nous en rappellerons quelques éléments afin d'illustrer comment la réflexion épistémologique constitue un cadre d'interprétation privilégié de certains problèmes didactiques et permet de concevoir les conceptions dites spontanées en tant que structures conceptuelles viables (Glasersfeld, 1986), plutôt qu'en des termes normatifs où elles sont jugées fausses. Nous proposerons également un modèle provisoire de développement conceptuel qui participe essentiellement des concepts centraux de jeu de la connaissance, de cadre épistémique et de dérangement épistémologique, et qui nous a guidés dans la conception et la mise à l'épreuve d'une stratégie pédagogique en contexte scolaire. Lors de l'expérimentation de celle-ci, nous avons pu recueillir divers types de données dont l'analyse nous permet de juger le bien-fondé des idées pédagogiques que nous proposons et, du même coup, d'apporter des éléments de réponse aux questions énoncées plus haut.

LES ORIENTATIONS THÉORIQUES

Dans un ouvrage récent (1989), nous avons traité des diverses raisons pour lesquelles il nous paraît important de faciliter chez les étudiantes et les étudiants le développement d'une réflexion épistémologique sur la nature du savoir scientifique et de sa production. Mais comment actualiser ces préoccupations dans un quotidien pédagogique?

Cette première interrogation est à la source de ce travail qui porte essentiellement sur la mise au point d'une stratégie pédagogique susceptible de favoriser chez les étudiantes et les étudiants la prise de conscience de la nature du savoir scientifique et de ses conditions de production. S'agit-il d'une stratégie pertinente, faisable? Permet-elle le développement conceptuel et réflexif escompté? Examinons brièvement quelques-uns des enseignements que l'on peut tirer des recherches sur le sujet et qui s'inscrivent dans la problématique du changement conceptuel.

Structure conceptuelle, structure cognitive et cadre épistémique

Dans le domaine de la didactique des sciences, il est de plus en plus reconnu qu'on ne peut se permettre de faire l'économie du savoir antérieur des apprenantes et apprenants à l'égard des concepts qui font l'objet d'un enseignement formel (Astolfi & Develay, 1989; Erickson & Driver, 1983). De plus, l'idée selon laquelle il faudrait également considérer les représentations qu'ils entretiennent à l'égard de leurs propres compétences de «sujet connaissant», rallie un nombre croissant de chercheures et chercheurs, comme en témoigne notamment un colloque récent sur l'état du savoir dans le champ de l'éducation à la science (Lenoir, 1987). Ainsi, d'une vision de l'apprentissage des sciences axée sur un processus cumulatif d'acquisition des connaissances, on est passé à une vision qui, selon d'aucuns (West & Pines (eds), 1985), s'articule autour du concept de changement conceptuel chez les apprenantes et apprenants. C'est dans cette perspective théorique que s'inscrit notre recherche bien que, comme nous le verrons, nous avons quelques réserves au regard des modèles de changement conceptuel qui ont été proposés à ce jour.

Parmi ces modèles, celui proposé par Strike et Posner (1985) est l'un des plus intéressants quant aux exigences théoriques de la perspective constructiviste de l'apprentissage des sciences. Le sujet connaissant y est conçu de manière dynamique, c'est-à-dire en tant que sujet qui élabore ses connaissances dans un processus de rééquilibration à la suite d'un conflit cognitif dont la source est endogène. De plus, l'une des conditions nécessaires pour qu'il y ait changement conceptuel serait liée, selon les auteurs, à l'insatisfaction qu'éprouve le sujet à l'égard d'une ou plusieurs de ses conceptions, ce qui, d'une certaine façon, rejoint l'aspect pragmatique du concept de viabilité qui caractérise le constructivisme contemporain. Les sources de cette insatisfaction peuvent certes être nombreuses, mais les auteurs soulignent le rôle important de l'anomalie qu'ils définissent comme suit:

> Each time a person unsuccessfully attempts to assimilate an experience or a new conception into his or her existing network of conceptions, that person experiences an anomaly. An anomaly exists when one is unable to assimilate something that is presumed assimilable - one simply cannot make sense of something ... one may come to the conclusion that one's existing conceptions require some fundamental revisions (i.e. an accommodation) in order to eliminate the conflict. (p. 216)

En somme, c'est donc l'activité même du sujet qui est à la source du conflit, de la perturbation de la structure conceptuelle. Toutefois, la conception que proposent les auteurs des processus d'assimilation et d'accommodation de même que la considération qu'ils accordent au statut épistémologique de l'apprenante et de ses connaissances nous posent quelques problèmes. Examinons ces aspects.

Bien que notre problématique s'inscrive d'emblée dans le modèle interactionniste et constructiviste de Piaget, nous y ajoutons l'aspect suivant, soit la distinction entre d'une part, la structure cognitive ici est-à-dire l'ensemble des opérations intellectuelles que peut mettre en œuvre une personne à un moment donné de son développement cognitif et, d'autre part, la structure conceptuelle ici est-à-dire l'organisation des concepts, des postulats épistémologiques et métaphysiques à l'aide desquels une personne interprète ses expériences et leur donne une signification. Cette distinction est évidemment heuristique et nous ne supposons pas qu'il soit possible d'isoler de manière étanche ces deux dimensions de l'appareil cognitif. toutefois, d'un point de vue théorique, elle est utile et nous permet de souligner l'importance des connaissances préalables d'une personne dans ses démarches de connaissance. Par ailleurs, cette structure conceptuelle doit être envisagée comme un système complexe[5] dans le sens donné par Atlan (1986) à ce concept. C'est dire alors qu'un système complexe est toujours dans un état de quasi-équilibre et possède, selon Atlan, la capacité de « réagir à des perturbations non prévues par des changements qui ne seront pas une simple destruction de l'organisation préexistante, mais une réorganisation permettant à des propriétés nouvelles d'apparaître. Ces propriétés peuvent prendre la forme d'une nouvelle structure ou d'un comportement» (p. 69). Cette précision est importante, car elle signifie ni plus ni moins que le changement conceptuel ne peut être conçu comme l'intégration d'un nouvel élément (concept ou idée) extérieur à la structure conceptuelle, ni comme la simple substitution ou le remplacement d'une conception par une autre, à la suite d'une compétition entre celles-ci (la métaphore darwinienne), comme semblent le penser Strike et Posner (1985). En fait, il s'agirait plutôt d'une reconstruction qui entraîne des réorganisations plus ou moins importantes de la structure conceptuelle dans le sens d'une complexité accrue. Celle-ci peut s'exprimer par une extension des possibilités de compréhension, dont celle qui consiste à réintégrer une conception initiale au titre de cas particulier. Elle peut aussi prendre la forme d'un accroissement de la sensibilité de la structure conceptuelle aux perturbations éventuelles, c'est-à-dire qu'une structure qui se révèle perturbable, comporte inévitablement dans sa réorganisation une ouverture à d'autres perturbations possibles. Par exemple, l'appropriation conceptuelle, par une personne, de la théorie de la gravitation universelle peut, non seulement, élargir sa capacité de compréhension de divers phénomènes, mais lui permettre aussi de comprendre pourquoi, antérieurement, elle concevait que les satellites artificiels étaient mus par des moteurs. D'autre part, en partageant le point de vue selon lequel l'interaction à distance entre des entités est plausible, la personne s'ouvre à la compréhension des théories qui font intervenir le concept de champ. Ainsi, une structure conceptuelle acquiert une sensibilité de plus en plus grande aux perturbations, au fur et à mesure qu'elle se complexifie. Mais il est bien

connu que les étudiantiels éprouvent des difficultés à s'approprier le savoir scientifique et que les stratégies pédagogiques axées sur l'idée de conflit cognitif ont connu un succès mitigé (Larochelle & Desautels, 1989). Pour nous, cela tient en grande partie au fait que l'on n'a pas vraiment pris en compte la dimension épistémologique en jeu dans ce que l'on a appelé le changement conceptuel, en particulier les relations entre l'organisation des concepts et le cadre épistémique[6] à l'intérieur duquel ceux-ci s'élaborent.

La fabrication des concepts par les étudiantiels dépend non seulement de l'état de leurs connaissances antérieures, mais également du cadre épistémique, généralement inconscient, qui guide leur activité de cognition. Ce cadre est constitué de postulats épistémologiques, de croyances métaphysiques, de règles méthodologiques, d'habitudes de pensée, d'un langage, etc., qu'ils mettent spontanément en œuvre pour construire des explications à propos des phénomènes dits naturels. Autrement dit, comme le souligne avec justesse Hills (1989), c'est à partir du savoir commun que les étudiantiels interprètent leurs expériences, et ce savoir, comme nous le verrons, a son propre domaine de légitimité, tout comme le savoir scientifique d'ailleurs. Auparavant, voyons quelques exemples qui illustrent la prégnance du cadre épistémique dans les explications des étudiantiels.

Lorsque les adolescentiels affirment que la laine est chaude et le métal froid pour expliquer le phénomène de la conduction thermique, il est implicitement postulé que la compréhension procède des sensations et qu'il suffit de toucher, de voir et d'entendre pour connaître. Dans cet ordre d'idées, on peut penser que cette conception est tributaire d'un cadre épistémique sensualiste-empiriste selon lequel la réalité ontologique est accessible, que cet accès est direct grâce à notre appareil sensoriel et, de plus, que l'explication réside dans la description. Par ailleurs, il n'est pas rare que l'on repère dans les discours des étudiantiels des raisonnements circulaires qui tiennent lieu d'explication tels ceux-ci : le ruban adhésif adhère (colle) à la table parce qu'il est collant, ou encore la chaleur monte parce qu'elle est plus légère que l'air. Ce genre de pseudo-proposition causale, qui n'est pas sans rappeler les définitions du dictionnaire, est largement employée dans la vie courante et comporte une efficacité certaine, au sens où ceux et celles qui l'utilisent ont vraiment l'impression de comprendre. Mais, au regard des normes épistémologiques en usage en science[7], elle n'est pas pertinente et sera vue comme un jeu de mots qui n'explique rien. Les discours des étudiantiels sont également fréquemment marqués par le recours à l'idée de substance pour expliquer divers types de phénomènes (lumière, électricité, gènes, etc.). Plusieurs étudiantiels assimilent ainsi la chaleur à une substance (fluide, vapeur) et la dotent de propriétés à l'aide desquelles ils expliqueront divers ordres de phénomènes de la vie quotidienne. On pourrait facilement ajouter à cette liste d'exemples en empruntant, entre autres, à

Resnick (1988), mais, dans tous les cas, ce qui ressort est l'idée que certaines connaissances «ontologiques» fondamentales, comme précise Resnick (p. 102), « ... sont à la base des explications physiques naïves et les régissent».

La reconnaissance de la participation du cadre épistémique à toute activité cognitive nous a conduits non seulement à élucider l'épistémologie spontanée des adolescentiels, mais également à mener et à superviser des études axées sur la mise au jour des postulats épistémologiques en œuvre dans la conceptualisation des phénomènes dits naturels qu'ont de jeunes adultes et des enseignantiels de physique et de chimie. On peut ainsi observer que ces derniers ont, en règle générale, des représentations du concept d'atome d'inspiration réaliste-empiriste, qui les amènent à accorder un statut ontologique au modèle de Rutherford (Méthot, 1987). Ces mêmes enseignantiels, qui utilisent parfois le vocabulaire de la mécanique quantique, font ainsi une interprétation newtonnienne de cette théorie, tout comme l'étudiant interrogé par Hewson (1982) interprétait la théorie de la relativité. Dans une même perspective, les travaux de Benyamini (1987) montrent que des étudiantiels, au seuil de leur entrée à la faculté de sciences et ayant suivi un minimum de dix cours de science depuis le début de leurs études secondaires, interprètent des phénomènes aussi divers que la propagation de la chaleur, de la lumière et du courant électrique, à l'aide d'un modèle particulaire fondé sur les métaphores des boules de billard et du fluide. En somme, ce que tendent à indiquer ces divers travaux, c'est qu'en l'absence d'une remise en question explicite de leurs postulats épistémologiques, les personnes réinterprètent les contenus formels du savoir scientifique selon leur cadre épistémique initial, et leur attribuent, de ce fait, une signification pour le moins différente de celle dont discutent scientifiques et philosophes.

En l'occurrence, malgré nos réserves à l'égard des propositions théoriques de Strike et Posner, notamment en ce qui a trait aux processus d'assimilation et d'accommodation et, en conséquence, à ce que peut signifier l'idée de changement conceptuel à laquelle nous préférons l'idée de complexification conceptuelle[9], il n'en demeure pas moins que nous les rejoignons sur plusieurs aspects de leur discours, en particulier lorsqu'ils allèguent que « ... many students may lack the scientific knowledge or the epistemological concepts to recognize as anomalies the things which professional scientists will see as problematic » (1982, p. 238). Faut-il en conclure qu'il est nécessaire que les adolescentiels s'adonnent à une méta-réflexion, afin de mettre à distance leurs cadres épistémiques d'interprétation? Nous pensons qu'il s'agit là d'une voie prometteuse, et les quelques paragraphes qui suivent explicitent les principaux concepts qui nous ont guidés dans la conception d'une stratégie pédagogique appropriée.

Jeu de la connaissance, profil épistémologique, dérangement épistémologique

Eduquer à la science dans une perspective constructiviste signifie pour nous faciliter l'accès à l'un des nombreux «jeux de la connaissance»[9] qui constituent le patrimoine culturel de l'humanité. On peut ainsi distinguer le jeu de la connaissance ordinaire ou commune, du jeu de la connaissance religieuse, ou encore de ceux de la connaissance magique, littéraire, philosophique, historique, scientifique, etc. Chacun de ces jeux, à une époque donnée[10], a un domaine de légitimité circonscrit par les postulats et les règles qui permettent d'y jouer. Par exemple, comme l'a illustré Merchant (1983), il a été nécessaire pour établir le jeu du savoir scientifique moderne de supposer qu'aucune intention n'était à l'œuvre dans l'univers et d'institutionnaliser le recours systématique à l'expérimentation et à la mathématisation comme règles du jeu.

Mais qui dit jeu sous-entend couramment manque de sérieux, futilité. On comprendra que ce n'est pas cette signification qui fonde notre usage de ce concept, puisqu'il s'agit d'un jeu très sérieux, qui comporte tout de même un caractère ludique notamment par sa non-prétention explicite à la VÉRITÉ et à la divulgation de LA RÉALITÉ. À l'instar de tout jeu, il ne prend sa valeur qu'à l'intérieur d'un domaine de légitimité défini par les postulats qui le fonde et les règles à observer pour le jouer. Autrement dit, c'est n'admettre aucune hiérarchie de valeur dans l'ordre de la connaissance, aucune possibilité d'un méta-jeu qui serait le jeu des jeux. C'est plutôt, comme le dit si bien Morin (1986), refuser la régression à l'infini de la méta, méta... connaissance, au profit du jeu de la démocratie épistémologique, en instaurant une possibilité de dialogue entre les domaines de connaissance et, peut-être, d'interfécondation. Illustrons brièvement la pertinence de cette idée dans le contexte de l'enseignement des sciences.

Imaginons que nous vous invitions à jouer à un jeu qui vous est étranger, le tennis par exemple, sans vous préciser les règles de son déroulement ni ses finalités. Il est possible que vous ayez une certaine connaissance du jeu de badminton et que vous tentiez de faire avec. Il est possible aussi qu'aucun de ces jeux ne vous soit familier et que vous vous trouviez dans l'inconfortable position de jouer (surtout si on vous y oblige) en inférant coup par coup les règles de ce jeu. Vous pouvez aussi être amené à développer l'idée que le sens à donner à ce jeu vous échappera indéfiniment ou qu'il n'a tout simplement pas de sens, ou encore qu'il n'est accessible qu'à des intellects particuliers!

Dans ce contexte, il est plausible de penser que votre apprentissage du jeu en question ne se déroulera pas sans heurts ni grincements conceptuels, ni même sans tatés. C'est presque une banalité de souligner comment un observateur ou une observatrice avertis ne s'y laisseraient pas prendre et comprendraient que l'aspect critique du jeu ne tient pas à une déficience ni à une lacune cognitive qui vous appartiendraient, mais bien à l'absence d'informations sur les règles qui contribuent à définir le jeu. Comment pourrait-on vous reprocher de ne pas savoir ce qu'on ne vous a pas dit!

Analogiquement, l'apprentissage d'un nouveau jeu de connaissance n'est guère différent. Et il est peut-être encore plus critique lorsque les règles et le déroulement du jeu sont particulièrement contre-intuitifs, comme le jeu de la connaissance scientifique, même si on y emploie des termes apparemment similaires à ceux du jeu de la connaissance ordinaire, tels force, énergie, lumière. En outre, la confusion peut être accrue par les contingences du jeu. Pensons aux contextes de jeu où les interactions ne sont ni facultatives ni sporadiques, mais obligatoires et fréquentes, comme l'est le contexte scolaire. Saura-t-on spontanément distinguer l'autorité rationnelle (compétence) dont peut faire montre l'enseignant(e) de l'autorité traditionnelle qu'il ou elle exerce pour maintenir un certain climat de communication dans la classe? En fait, il s'agit d'un jeu très complexe et, comme le soupçonnent quelques chercheur(e)s en didactique des sciences (Geddis, 1988; Russel, 1983), sa non-transparence peut conduire les étudiant(e)s à confondre les types d'autorité et à penser, par exemple, que la validité d'un savoir dépend du seul pouvoir ou de la position sociale de celui ou celle qui le propose.

Les étudiant(e)s sont-ils informés de cela? Connaissent-ils les règles du jeu scientifique, les enjeux que représentent leurs définitions ainsi que les difficultés conceptuelles que tous ces aspects soulèvent, même pour les plus expérimenté(e)s en la matière? Sont-ils au fait de la socialité inévitable de ce jeu dans sa production comme dans ses produits? En deux mots, ont-ils l'occasion de jouer délibérément?

Certaines personnes répliqueront peut-être qu'on leur présente des règles telles la «méthode scientifique». Mais qu'est-ce que cette méthode? Se réduit-elle au schème caricatural O-H-E-R-I-C (observation, hypothèse, etc.) qui caractérise bien plus le procédé de communication d'un travail effectué que le déploiement de celui-ci? Faut-il rappeler, pour mémoire, la déroute du projet positiviste qui prétendait à baliser le chemin conduisant à coup sûr de l'ignorance à la connaissance? Les étudiant(e)s connaissent-ils ces discussions qui ont marqué et marquent encore les échanges au sein

Dans ce contexte, il est plausible de penser que votre apprentissage du jeu en question ne se déroulera pas sans heurts ni grincements conceptuels, ni même sans ratés. C'est presque une banalité de souligner comment un observateur ou une observatrice averti·e ne s'y laisserait pas prendre et comprendrait que l'aspect critique du jeu ne tient pas à une déficience ni à une lacune cognitive qui vous appartiendraient, mais bien à l'absence d'informations sur les règles qui contribuent à définir le jeu. Comment pourrait-on vous reprocher de ne pas savoir ce qu'on ne vous a pas dit?

Analogiquement, l'apprentissage d'un nouveau jeu de connaissance n'est guère différent. Et il est peut-être encore plus critique lorsque les règles et le déroulement du jeu sont particulièrement contre-intuitifs, comme le jeu de la connaissance scientifique, même si on y emploie des termes apparemment similaires à ceux du jeu de la connaissance ordinaire, tels force, énergie, lumière. En outre, la confusion peut être accrue par les contingences du jeu. Pensons aux contextes de jeu où les interactions ne sont ni facultatives ni sporadiques, mais obligatoires et fréquentes, comme l'est le contexte scolaire. Saura-t-on spontanément distinguer l'autorité rationnelle (compétence) dont peut faire montre l'enseignant·e de l'autorité traditionnelle qu'il ou elle exerce pour maintenir un certain climat de communication dans la classe? En fait, il s'agit d'un jeu très complexe et, comme le soupçonnent quelques chercheurs·es en didactique des sciences (Geddis, 1988; Russel, 1983), sa non-transparence peut conduire les étudiant·e·s à confondre les types d'autorité et à penser, par exemple, que la validité d'un savoir dépend du seul pouvoir ou de la position sociale de celui ou celle qui le propose.

Les étudiant·e·s sont-ils informés de cela? Connaissent-ils les règles du jeu scientifique, les enjeux que représentent leurs définitions ainsi que les difficultés conceptuelles que tous ces aspects soulèvent, même pour les plus expérimenté·e·s en la matière? Sont-ils au fait de la socialité inévitable de ce jeu dans sa production comme dans ses produits? En deux mots, ont-ils l'occasion de jouer délibérément?

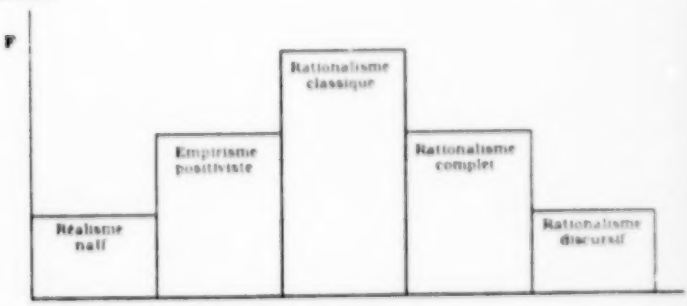
Certaines personnes répliqueront peut-être qu'on leur présente des règles telles la «méthode scientifique». Mais qu'est-ce que cette méthode? Se réduit-elle au schéma caricatural O-H-E-R-I-C (observation, hypothèse, etc.) qui caractérise bien plus le procédé de communication d'un travail effectué que le déploiement de celui-ci? Faut-il rappeler, pour mémoire, la déroute du projet positiviste qui prétendait à baliser le chemin conduisant à coup sûr de l'ignorance à la connaissance? Les étudiant·e·s connaissent-ils ces discussions qui ont marqué et marquent encore les échanges au sein

de la communauté scientifique? Que savent-ils de cette réflexion critique qui constitue l'une des dimensions du travail scientifique? Comment pourront-ils comprendre les produits de ce travail s'ils ignorent leur contexte de production? Comment peut-on s'attendre, par exemple, à ce qu'ils retiennent les lois scientifiques s'ils ignorent tout de la construction du sens de ces lois, comme le souligne si bien Stengers (1986):

> Pourquoi doit-on, par priorité, «apprendre les lois» dans le secondaire : c'est la première chose qui est oubliée, et c'est ce qui effectivement appelle un enseignement dogmatique, parce que qui dit loi dit simplification gigantesque, appareils extrêmement artificiels, réduction du problème à ce que l'appareil en peut traiter. C'est-à-dire quelque chose dont, si on l'explique vraiment, on se demandera de quoi il y a loi, en fait. (p. 144)

En bref, n'est-il pas illusoire d'espérer que les étudiantiels comprennent la spécificité du savoir scientifique si le jeu de la connaissance auquel on les convie est à la fois factice, désuet et cachottier.

Par ailleurs, comme nous l'avons indiqué, l'initiation aux jeux de la connaissance et, en particulier, à celui de la science, ne peut consister en l'élimination des connaissances préalables des étudiantiels ni à leur substitution par d'autres. Elle ne peut être pensée que dans les termes d'une facilitation de la complexification de leur structure conceptuelle. Un bel exemple d'une telle complexification nous est fourni par Bachelard (1973) lorsqu'il présente son profil épistémologique du concept de masse. Après avoir examiné de manière approximative les fréquences d'utilisation personnelle qu'il faisait des divers concepts de masse, il propose l'histogramme suivant:

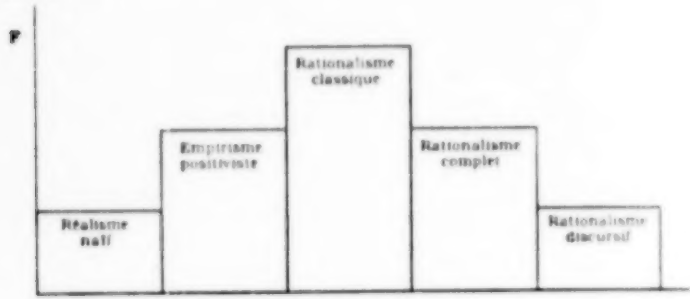


de la communauté scientifique? Que savent-ils de cette réflexion critique qui constitue l'une des dimensions du travail scientifique? Comment pourront-ils comprendre les produits de ce travail s'ils ignorent leur contexte de production? Comment peut-on s'attendre, par exemple, à ce qu'ils retiennent les lois scientifiques s'ils ignorent tout de la construction du sens de ces lois, comme le souligne si bien Stengers (1986):

> Pourquoi doit-on, par priorité, «apprendre les lois» dans le secondaire: c'est la première chose qui est oubliée, et c'est ce qui effectivement appelle un enseignement dogmatique, parce que qui dit loi dit simplification gigantesque, appareils extrêmement artificiels, réduction du problème à ce que l'appareil en peut traiter. C'est-à-dire quelque chose dont, si on l'explique vraiment, on se demandera de quoi il y a loi, en fait. (p. 144)

En bref, n'est-il pas illusoire d'espérer que les étudiants(es) comprennent la spécificité du savoir scientifique si le jeu de la connaissance auquel on les convie est à la fois factice, désuet et cahotique?

Par ailleurs, comme nous l'avons indiqué, l'initiation aux jeux de la connaissance et, en particulier, à celui de la science, ne peut consister en l'élimination des connaissances préalables des étudiants(es) ni à leur substitution par d'autres. Elle ne peut être pensée que dans les termes d'une facilitation de la complexification de leur structure conceptuelle. Un bel exemple d'une telle complexification nous est fourni par Bachelard (1973) lorsqu'il présente son profil épistémologique du concept de masse. Après avoir examiné de manière approximative les fréquences d'utilisation personnelle qu'il faisait des divers concepts de masse, il propose l'histogramme suivant:



La lecture de cet histogramme nous fait voir que l'auteur utilise parfois le concept de masse dans sa signification réaliste, c'est-à-dire comme une estimation quantitative grossière de la réalité, qu'il l'utilise aussi dans sa version empiriste, soit comme le résultat d'une opération de mesure effectuée à l'aide de la balance, qui témoignerait d'une propriété intrinsèque de l'objet. Toutefois, c'est le concept newtonien de masse, qui n'a de sens qu'en relation avec les concepts de force et d'accélération, qui constituerait sa référence privilégiée, bien qu'à l'occasion il fasse usage du concept de masse relative et de masse négative. La possibilité d'établir ainsi son propre profil épistémologique suppose que l'on soit capable de réflexion épistémique, comme l'indique Kitchener (1983), c'est-à-dire que l'on soit conscient des postulats et des règles qui caractérisent les jeux de la connaissance. De plus, comme l'illustre le profil épistémologique de Bachelard, la complexification conceptuelle n'implique pas l'élimination des connaissances antérieures ou encore celles du sens commun[11], mais plutôt une réorganisation de la structure conceptuelle selon le contexte et les finalités en cause.

Au regard de nos préoccupations d'éducation à la science, cela nous ramène au problème que nous avons déjà indiqué, à savoir que l'enseignement ne peut viser à éliminer ou remplacer des connaissances par d'autres, mais doit plutôt s'intéresser à susciter des dérangements épistémologiques qui permettront aux étudiant(e)s de s'initier aux jeux de la connaissance. Par dérangement épistémologique, nous entendons donc une prise de conscience du statut épistémologique de leurs propres connaissances, et la reconnaissance de l'intérêt et de la possibilité de considérer les postulats et les règles des autres jeux de la connaissance, dont celui du savoir scientifique. En somme, il s'agit, comme le dit si bien Morf (1987), d'accorder « un statut épistémologique à l'élève » (p. 20), en tant que re-producteur de connaissances, plutôt que celui de simple répétiteur. Toutefois, nous ne devons pas sous-estimer les difficultés inhérentes à cette tâche ni l'étendue dans le temps du processus de dépassement de ces difficultés qui ne peut être conçu comme un changement instantané et radical. Les propos suivants de Bateson (1980) sont instructifs sur le sujet. À la suite du choc cognitif qu'ont entraîné chez lui les expériences sur la perception (illusions sensorielles, etc.) proposées par Adelbert Ames, il souligne la lenteur du processus que suppose la résolution de ce choc:

> Depuis 1943, c'est-à-dire depuis que j'ai assisté à cette expérience, j'ai tenté de vivre dans le monde de la vérité, plutôt que dans celui des fantaisies épistémologiques. Je ne crois pas y être parvenu. Après tout, le traitement de la folie demande une psychothérapie ou quelque expérience radicalement nouvelle et déterminante. Une seule expérience, qui prend fin au laboratoire, ne saurait être suffisante » (p. 237).

C'est dans un tel cas, nous semble-t-il, que les propos de Bachelard (1975) qui soulignait le fait que l'étudiant(e) devait être «psychanalysé» si l'on voulait qu'il participe au jeu de la connaissance scientifique, prennent tout leur sens. Mais ajouterions-nous, cette«psychanalyse» ne doit pas être univoque et s'appliquer au seul savoir de l'étudiant(e), mais aussi au savoir scientifique. Car, somme toute, le problème ne réside ni dans les conceptions antérieures des apprenant(e)s ni dans celles qu'on leur propose lors d'un enseignement formel. C'est plutôt la méconnaissance de la nature des unes et des autres qui pose problème et qui peut conduire à les considérer comme interchangeables, alors que ces conceptions, tout en procédant toutes deux de contingences cognitives et sociohistoriques, divergent grandement quant à l'itinéraire de leur production et de leur reconnaissance (Zaman, 1980). En bref, si nous revenons au problème d'apprentissage des sciences cité au début de ce travail, nous pouvons alors le reformuler dans les termes suivants: comment aider les étudiant(e)s à passer d'un jeu de connaissance à l'autre de manière avertie et ... émancipatoire?

La section suivante est consacrée à la présentation de la stratégie que nous avons conçue à cet effet.

LA STRATÉGIE PÉDAGOGIQUE DU DÉRANGEMENT ÉPISTÉMOLOGIQUE

On peut penser, à la suite de Morf (1985), que l'idée plus générale de connaissance qui est véhiculée dans nos institutions de formation n'est pas étrangère à la persistance de la «logique substantialiste» qui marque la compréhension qu'ont les étudiant(e)s du savoir scientifique, telle que mise en évidence dans les nombreux travaux portant sur les conceptions spontanées. En effet, comme il le souligne, le plus souvent, le savoir dispensé se donne la mission d'être rassurant et ne présente que des connaissances établies, excluant l'inconnu ou le mal connu. Par là, c'est tout le processus de fabrication du savoir avec ses audaces, ses détours, ses contradictions et ses négociations, qui est masqué. Est-il, dès lors, si étonnant que les élèves pensent que le savoir n'est qu'une mise en mots (ou en chiffres) d'évidences empiriques?

En outre, il s'ajoute à ces contextes celui plus particulier du contrat didactique (Brousseau, 1981) qui résulte du type d'interaction «maître-élèves». Or, comme le développe Balacheff (1986), ce contrat conditionne le rapport au savoir au sens où, la plupart du temps, ce qu'on demande aux étudiant(e)s n'est pas d'agir comme un(e) théoricien(ne) qui produit, de manière rigoureuse, du savoir mais plutôt comme un(e) praticien(ne) qui produit, de manière efficace, une solution qui, de plus, doit avoir

l'allure des solutions admises dans la discipline et être acceptable en contexte scolaire. En d'autres termes, le contrat didactique conditionne la signification que l'élève attribuera à une situation-problématique et, le plus souvent, requerra de lui qu'il agisse en empiriste. Les travaux de Dilion (1978) pointent également dans cette direction lorsqu'il dénonce l'illusion des enseignantEs à éduquer par des questions et des problèmes qui, de fait, n'en sont pas puisqu'ils ont déjà les réponses.

Du point de vue didactique, cela soulève plusieurs questions. On peut, en effet, se demander comment, avec une telle croyance en l'évidence, les élèves pourront accéder à la signification hautement abstraite du concept de masse, par exemple? Nous avons pu observer d'ailleurs que cet aspect n'échappe pas aux élèves et que la dimension abstraite du savoir scientifique leur pose problème :

> J'ai de la misère à voir comment on peut faire lever des choses qu'on ne voit pas! Ils [les professeurs] vont nous l'expliquer et on va comprendre comment ils [les scientifiques] ont pu voir ça. Ils vont arriver et dire: «la distance de la terre à la lune égale quelque chose.» Je ne le sais pas par cœur! Mais comment ils ont fait pour mesurer ça? Ils n'ont pas un gallon à mesurer si long que ça! J'ai bien de la misère avec ça [...] Et le gars [qui] a découvert ça, comment il a fait? Il est venu de même un matin et ça lui est arrivé? C'est dur. Je vais comprendre un coup que ça va être expliqué, mais le gars à qui personne ne l'a jamais expliqué quand il l'a su, comment il a fait? (1980, p. 155)

D'autre part, on peut s'interroger sur la portée émancipatoire, à la fois individuelle et collective, de nos stratégies d'éducation à la science, si elles se confinent à la seule confrontation des conceptions premières des élèves avec les résultats de la science, avec la version publique de celle-ci. Ne risque-t-on pas que la science soit comprise comme une marche triomphante vers la vérité et les scientifiques comme les héros doués et indéfectibles de cette épopée? Qui plus est, du point de vue collectif, cela ne conduit-il pas à reconnaître que seules certaines catégories de personnes, les «experts» scientifiques, sont aptes à produire des discours qui ont une valeur cognitive fondée? Pour nous, la réponse à ces questions est claire : rien ne justifie que nos programmes d'étude n'intègrent par une réflexion épistémologique sur les jeux et les enjeux du savoir scientifique et son procès. D'une part, il s'agit là de leur objectif éducatif même, puisque le principal intérêt de leur existence réside dans le fait qu'ils peuvent favoriser la construction des connaissances plutôt que le partage. D'autre part, cette réflexion caractérise les champs d'étude auxquels l'éducation à la science puise ses objets d'enseignement. Enfin, en tant qu'éducateurs et éducatrices, il nous revient non seulement d'aider nos élèves à améliorer leurs performances, mais aussi et surtout à élargir leur compétence d'acteur et d'actrice sociaux. Or, d'un point de vue strictement individuel, la confrontation de son savoir et de ses croyances à un savoir

public, dont les heurts et grincements intellectuels sont gommés, peut donner lieu à une dépréciation de ses propres compétences, comme l'indique le sujet des propos du sujet précité :

> Il devait drôlement être doué. Il faut certainement être doué, être intéressé, intelligent. Il y en a qui sont plus intelligents que d'autres. C'est comme la loi de la nature de tantôt il y a les arbres qui grossissent et il y en a qui vont toujours rester tout le temps petits. (idem)

C'est pourquoi il nous a semblé important de penser une stratégie pédagogique qui donne un statut épistémologique plus actif aux élèves et à l'enseignant(e), intègre le caractère réflexif, conflictuel, inachevé et contingent de toute prise et production de connaissance et permet aux uns et aux autres de se familiariser avec le jeu très sérieux de la production du savoir scientifique. C'est dans la foulée de ces préoccupations que nous avons élaboré la stratégie dite de dérangement épistémologique, qui consiste essentiellement à promouvoir une réflexion critique sur les postulats et les finalités qui orientent toute production de connaissance, dont celle du savoir scientifique. Avant de présenter les grandes lignes de cette stratégie, quelques précautions d'usage s'imposent quant à la notion de dérangement épistémologique et celles de confrontation et de conflit cognitif qui lui sont associées.

L'idée de dérangement épistémologique

Selon l'option conceptuelle à laquelle on adhère, les idées de dérangement épistémologique, de confrontation et de conflits cognitifs peuvent prendre diverses significations. Ainsi, pour certaines personnes, ces notions peuvent avoir une connotation péjorative, voire suspecte, parce qu'elles prennent leur sens à partir de leur opposition aux notions d'empathie et d'acceptation inconditionnelle. Pour d'autres, et c'est notre option, elles prennent leur sens à partir d'une perspective constructiviste du développement intellectuel, qui postule que celui-ci procède de rééquilibrations incessantes. En ce sens, elles ne sont donc pas posées sur le seul plan affectif bien qu'à l'instar de toutes les conduites cognitives, les conduites auxquelles renvoient ces notions comportent inévitablement une dimension affective. On peut ainsi penser que, pour toutes sortes de raisons, nous soyons motivés à résoudre un problème imprévu qui «dérange» notre structure d'appréhension habituelle, notre mode de comportement. Or, et c'est là l'un des objectifs de sensibilisation de la stratégie que nous avons élaborée, cela signifie qu'un concept n'a jamais de signification univoque et prend son sens non seulement à partir du réseau conceptuel dans lequel il s'inscrit (on peut ici penser au concept de masse dans la mécanique newtonnienne, qui prend un tout autre sens dans la mécanique einsteinienne!), mais aussi des intérêts et des projets personnels

En d'autres termes, cette stratégie vise à faciliter chez les personnes le questionnement de leurs représentations en vue de les dépasser (ce qui ne suppose pas le rejet des options personnelles, mais plutôt leur dialectisation), et ce, grâce au développement d'une capacité de réfléchir et d'interroger, de manière critique, les postulats qui supportent leurs stratégies de construction de connaissance et celles des autres. En somme, il s'agit de favoriser l'occasion d'exercer une «démocratie épistémologique», en prenant conscience qu'il y a des points de vue, une diversité d'argumentations, etc., et non pas de provoquer un dérangement épistémologique sur un mode personnel et avec des intentions d'«enfoncer» cognitivement les personnes. Il ne s'agit pas d'une sorte de provocation psychologique délibérée qui, sous prétexte de faire bouger les personnes, les biaise. Il s'agit d'un contexte qui fait usage d'un dispositif expérimental (en l'occurrence, l'usage d'un logiciel heuristique) qui simule des phénomènes à l'écran et auxquels on tente de fournir une explication. Et c'est au cours de la modélisation de ces explications qu'intervient la stratégie dite de dérangement épistémologique, en invitant les personnes à préciser les fondements de leurs explications, à réfléchir sur les limites de ces fondements et leur validité et à se construire collectivement, à l'instar des communautés scientifiques, des critères et des règles d'acceptation des modèles. En bref, cette stratégie vise à faire prendre conscience, comme le dit heureusement G. Bateson, que la «carte n'est pas le territoire», que la connaissance scientifique, comme les autres types de connaissance, résulte d'une construction et est tributaire non seulement des critères de production reconnus par la communauté scientifique, mais également des images socialement reconnues de la connaissance à une époque donnée et des diverses positions qu'occupent les personnes productrices de connaissance au sein d'une société.

Dans cette perspective, notre stratégie de dérangement épistémologique s'apparente à une stratégie d'«autonomisation» cognitive plutôt qu'à une stratégie dépréciative, voire coercitive, des acquis cognitifs des personnes. Elle peut ainsi être émancipatoire, car un sujet qui est confronté à une situation-problème (comme le permet le logiciel retenu) et qui réussit à inventer une procédure pour la résoudre et à justifier celle-ci au sein d'un groupe de travail, se découvre un pouvoir d'action qui peut favoriser à ses yeux non seulement sa réussite en d'autres domaines, mais également une appréhension critique des connaissances et stratégies qu'on lui propose – dont celle de dérangement épistémologique! Examinons maintenant de plus près les outils de cette stratégie.

L'orientation de la stratégie

La stratégie générale du dérangement épistémologique peut être actualisée en des stratégies pédagogiques diversifiées, comme l'un de nous l'a montré ailleurs (Nadeau & Desautels, 1984). On peut ainsi, à l'instar du groupe auteur du cours de chimie «Science, Technology, Society, Communication» (1987), conjuguer les éléments classiques de l'enseignement de la chimie avec ceux de la philosophie et l'histoire des sciences qui y sont directement liés. Toutefois, c'est une autre voie que nous avons choisie, soit celle qui consiste, au sein d'un groupe-classe, à simuler certaines conditions de la production du savoir scientifique, dans le cadre général d'une stratégie dite de dérangement épistémologique. À cette fin, nous avons retenu deux conditions du jeu de la connaissance scientifique que l'on peut résumer comme suit :

1. *Le savoir scientifique est un savoir construit, inventé.*
   Les scientifiques élaborent des concepts, lois et théories afin de donner une signification aux phénomènes qu'il modélisent et ainsi répondre aux questions qu'ils se posent relativement à ces modèles.
2. *Le savoir scientifique est un savoir négocié et argumenté.*
   La production du savoir scientifique est une entreprise essentiellement collective : il n'y a pas de science idiosyncratique. Les modèles et les solutions proposés sont soumis à l'évaluation des pairs qui en apprécient la pertinence logique et expérimentale par rapport au savoir établi. Par ailleurs, ces critères explicites s'appuient également sur des critères tactites, telles les croyances métaphysiques, le prestige des chercheurs, etc.[12]

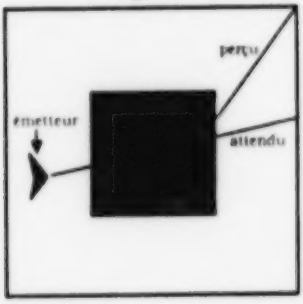
L'actualisation de ces conditions dans le contexte de la simulation repose notamment sur l'usage du logiciel l'Énigmatique (Desautels, Lauzon & Larochelle, 1987) et prend la forme suivante : chaque groupe de trois étudiants forme une équipe de recherche qui dispose d'un laboratoire (micro-ordinateurs), et a pour travail d'imaginer des solutions aux problèmes générés dans les diverses situations énigmatiques. Les solutions aux énigmes doivent être acceptées collectivement puisque ni les intervenants ni les animateurs et animatrice n'ont «la» bonne réponse. Ainsi, à l'instar de la communauté scientifique qui ne peut consulter le grand livre de la «NATURE», les étudiants doivent décider non seulement des explications à retenir, mais également des critères et des méthodes jugés acceptables pour les construire. À cet effet, divers outils et formes d'interaction leur ont été proposés, depuis la tenue d'un cahier de laboratoire d'équipe, la production d'un journal «épistémologique» personnel, jusqu'à la réalisation d'affiches-posters permettant aux équipes de confronter leurs modélisations lors de colloques scientifiques. Nous en rappelons brièvement la teneur dans les pages qui suivent.[13]

3. L'Énigmatique: une source potentielle d'énigmes

L'Énigmatique est un logiciel qui simule à l'écran des phénomènes qui constituent une source potentielle[14] d'énigmes que les étudiant/e/s doivent expliquer. Ceux-ci deviennent ainsi des chercheur/e/s confronté/e/s à des problèmes et le micro-ordinateur représente leur laboratoire de recherche. En ce sens, l'Énigmatique peut être qualifié de logiciel heuristique, parce qu'il permet la construction de connaissances originales.

L'énigme qui se pose aux chercheur/e/s est reliée au comportement inattendu «d'entités» inconnues émises par l'un ou l'autre des quatre émetteurs disposés autour d'un carré opaque, et dont on peut repérer les traces à l'écran. Ainsi, comme l'illustre la figure 1, on constate que la trace laissée par une entité a changé d'orientation à la suite d'une possible interaction qui a eu lieu sous le carré opaque, alors qu'on aurait pu s'attendre à ce qu'elle demeure rectiligne.

Figure 1



Ce sont éventuellement les différences entre les attentes des chercheur/e/s et ce qu'ils perçoivent à l'écran, qui peuvent donner lieu à l'élaboration d'un problème à résoudre. Y aurait-il un «objet» caché derrière le carré opaque qui permettrait de rendre compte du comportement des entités? Est-il possible d'en construire un modèle explicatif? Comment élucider cette situation énigmatique? Comment juger s'il en est bien ainsi?

Il nous faut tout d'abord souligner le fait que le logiciel permet de créer d'intéressantes situations de recherche. En effet, en aucun moment les chercheuriels ne pourront «voir» derrière le carré opaque, tout comme les chercheuriels scientifiques ne «voient» pas, par exemple, les forces gravitationnelles, les forces électro-magnétiques ou les électrons. Les chercheuriels ne pourront par ailleurs jamais consulter une instance extérieure, que ce soit un manuel ou les animateurs et animatrice, pour savoir s'ils ont fourni la bonne réponse, pas plus que les scientifiques ne peuvent consulter le grand livre de la «NATURE» pour vérifier la plausibilité des explications qu'ils élaborent afin de résoudre les problèmes qu'ils posent.

Si nous transposons le problème dans le domaine de la production du savoir scientifique, c'est à la communauté scientifique qu'il revient d'apprécier la validité des connaissances produites à l'aide des critères et des normes qu'elle a adoptés. Entendons-nous bien : cela ne signifie pas qu'il y ait unanimité dans le champ scientifique quant à la définition de ce qui est scientifique et de ce qui est valide. La définition de ces critères et normes représente un enjeu constant et donne lieu à des querelles de légitimité qui présentent plus d'un lien avec des luttes de pouvoir.

De façon similaire, c'est le groupe d'étudiantiels qui doit se donner des règles qui lui permettent d'opérer une discrimination et une sélection entre les diverses explications qui seront proposées. C'est donc par les discussions qui auront lieu et la qualité des arguments déployés que se développera un ou des consensus autour d'une ou plusieurs explications plausibles. En cas de litige, les protagonistes devront retourner à leurs laboratoires respectifs afin de mettre à l'épreuve les modèles proposés et développer une nouvelle argumentation. Mais, comme toute situation de recherche, il est des cas où deux modèles seront également plausibles et alors la petite communauté scientifique aura à vivre comme la grande, dans le doute, l'indécision... et la compétition!

2. Le cahier de «laboratoire»

Au cours de la simulation du fonctionnement d'une communauté de chercheuriels, les étudiantiels sont engagés(s) dans divers types d'activités : réflexions personnelles, discussions de groupe, réalisation d'expériences, analyses de données, etc. Un certain nombre de ces activités ont été effectuées au laboratoire – ici représenté par l'ordinateur. Dans ce contexte, il nous a paru judicieux, puisque cela est d'usage courant chez nombre de scientifiques, de faire usage d'un outil de travail : le cahier de laboratoire. Les extraits qui suivent, issus d'un document préparé à l'intention des chercheuriels-étudiantiels, en illustrent la teneur.

C'est dans un tel cahier qu'au jour le jour, parfois de minute en minute, les chercheurfeis consignent le fruit de leurs réflexions, leurs intuitions, les changements de cap, les résultats de leurs actions. En bref, ce cahier illustre le cheminement suivi par les chercheurfeis pour élaborer des réponses à leurs questions, c'est à dire construire des connaissances. De manière plus spécifique que retrouve-t-on dans ce cahier?

Remarquons tout d'abord qu'il est bien difficile d'énumérer tous les types de contenus apparaissant dans le cahier de laboratoire. Les scientifiques ont des habitudes et des méthodes de travail, des manies et des goûts personnels, qui rendent cette tâche ardue. Cependant, de manière générale, on peut regrouper les informations d'un cahier de laboratoire sous les rubriques qui suivent:

- Le problème à l'étude [...]
- Les solutions envisagées [...]
- Des résultats d'observations [...]
- Des idées d'expériences à faire [...]
- Des résultats d'expériences [...]
- Des analyses de résultats [...]
- Des comptes rendus de discussions et de décisions [...]

[...] Ces quelques rubriques permettent de donner un aperçu de la variété des informations que l'on peut trouver dans un cahier de laboratoire. Métaphoriquement, on peut le comparer au livre de bord sur un voilier, dans lequel on consigne soigneusement: l'origine et la destination du voyage, l'itinéraire prévu, les conditions météorologiques quotidiennes, les changements de cap, l'état du matériel, le moral de l'équipage, et, parfois, la pointure de l'un ou l'autre des équipiers/ères!

Il s'agit donc d'une description du travail de recherche dans son déroulement, au fur et à mesure qu'il s'effectue. On y retrouve les hésitations des chercheurfeis, les difficultés de toutes sortes qu'ils ont rencontrées, les imprévus, les bonnes et les fausses pistes, les expériences qui ont mal fonctionné et celles qui ont été fécondes. Cela dit, à quoi d'autre peut servir ce cahier?

Il faut d'abord préciser qu'il s'agit d'une production collective. En effet, **le cahier de laboratoire est une responsabilité d'équipe.** Il lui servira en premier lieu à rédiger collectivement un rapport de recherche en bonne et due forme, dans lequel on ne conserve bien sûr que les éléments essentiels à la démonstration. C'est donc à partir de ce cahier que vous allez préparer le rapport de recherche (et l'affiche-poster qui le résume), qui sera utilisé lors des débats et colloques scientifiques.

En second lieu, **le cahier de laboratoire a aussi un usage individuel.** Photocopié et remis à chaque membre de l'équipe, il constitue une source d'inspiration pour les réflexions que chacun(e) de ces membres présentera dans son journal personnel. En effet, ce cahier reflète, d'une certaine façon, votre pensée-en-action, et le travail que nous vous demandons d'effectuer dans le journal personnel consiste à réfléchir sur les réflexions que vous avez effectuées au moment où vous réalisiez votre recherche.

3. Le rapport de recherche

Après quelques semaines d'activités (5 ou 6), chaque équipe devait préparer un rapport de recherche sous la forme d'une affiche-poster, dont la structuration leur a été expliquée dans les termes des extraits suivants :

> L'affiche-poster est l'équivalent d'un rapport de recherche pour les scientifiques. Ces derniers(ères), au terme de leurs travaux, présentent de manière ordonnée : le problème qui devait être résolu, les suppositions qui fondent la démarche de recherche, les observations et les expérimentations réalisées, et les types de mesures effectuées, les analyses et les conclusions. En bref, le rapport de recherche est une démonstration qui vise à convaincre les collègues du bien-fondé de la solution proposée. Cette démonstration peut faire l'objet d'une publication dans une revue spécialisée ou encore d'une communication lors d'un colloque. Très souvent, des débats (écrits ou oraux) s'ensuivront, portant sur divers aspects de la recherche... ou de l'équipe de recherche!
>
> Tout au long du cours, vous aurez vous aussi l'occasion de débattre de la plausibilité de vos conclusions de recherche. À cet effet, chaque équipe aura un rapport de recherche à réaliser, à partir, entre autres, de ses notes de recherche (cf. cahier de laboratoire). Ce rapport de recherche prendra la forme d'une affiche-poster qui comporte les rubriques suivantes :
> - Définition du problème
> - Les suppositions qui fondent la démarche de recherche
> - Les observations recueillies
> - Les hypothèses de recherche
> - Les plans d'expériences
> - Les résultats expérimentaux et leurs limites
> - Les analyses
> - Les conclusions
> - Les nouvelles pistes de recherche

4. Les colloques

En vue de simuler l'itinéraire de la reconnaissance officielle d'une connaissance, deux colloques ont été organisés de façon à promouvoir des discussions et des débats pouvant, éventuellement, générer un ou des consensus quant à la plausibilité des solutions présentées. L'esprit de ces colloques a été expliqué aux étudiant(e)s dans les termes qu'illustrent ces extraits :

> La recherche scientifique est un jeu sérieux, exigeant, passionnant, qui donne lieu à des débats qui se veulent fondés, c'est-à-dire des discussions qui s'appuient sur des arguments dont on reconnaît collectivement la valeur. En ce sens, on peut les distinguer des débats "spontanés" où sont en jeu des impressions et opinions du type : "Moi je pense que c'est vrai, point à la ligne". L'affiche-poster que vous aurez à réaliser présente donc l'ensemble des arguments (expérimentaux, logiques) sur lesquels vous pouvez vous appuyer explicitement pour justifier votre position dans le débat scientifique. Mais à quoi servent donc ces débats?

> Les débats entre scientifiques ont pour but, entre autres, d'établir, à plus ou moins long terme, un consensus autour des problèmes qu'ils et elles tentent de résoudre et des solutions envisagées. D'une certaine façon, cela ressemble à un vote, car les avis éclairés de la majorité sont importants. Mais les avis de la minorité sont aussi très importants et, cela s'est produit souvent dans l'histoire des sciences, ils peuvent s'avérer féconds. Par exemple, un grand nombre de scientifiques n'ont pas été convaincus par les arguments de Darwin ou d'Einstein au moment où ceux-ci ont présenté leurs théories. Toutefois, à long terme, ces théories se sont révélées très fécondes. L'adoption d'une position qui fait l'objet d'un consensus à la suite d'une discussion serrée, comporte donc un risque, soit celui d'engager la majorité des chercheurfeis sur des pistes de recherche peut-être stériles. La présence de ces débats au sein des communautés de scientifiques nous permet de comprendre que si la production des connaissances scientifiques suppose que des personnes imaginent des solutions à des problèmes, il faut également que ces solutions soient reconnues et partagées pour avoir le statut de connaissances scientifiques.

Par ailleurs, pour aider les étudiantfeis dans l'organisation et la gestion de ces débats, nous leur avons proposé les règles suivantes:

1. L'élection d'un jury de trois membres dont le mandat consiste à évaluer les travaux présentés et à désigner les équipes qui recevront des subventions de recherche, compte tenu de la qualité de leurs travaux.
2. Avant les présentations officielles des travaux de recherche, chaque équipe doit évaluer le travail de trois autres équipes et leur présenter, en privé, une brève évaluation écrite selon les critères que nous leur avons suggérés (fiabilité, précision et exhaustivité des données, démonstration articulée et argumentée, fécondité du modèle proposé, etc.)*

8. Le journal personnel

Le journal personnel est l'un des principaux outils de la stratégie et a été conçu pour aider les étudiantfeis à réfléchir à la fois sur leur propre processus de production et sur celui dit scientifique. En outre, pour nous, il constitue l'instrument principal de cueillette de données. En l'occurrence, il importait de bien expliciter aux étudiantfeis sa nature. Le texte qui suit présente quelques extraits du document que nous leur avons présenté:

> Lors de la présentation du cahier de laboratoire, nous avons vu qu'il s'agissait d'un cahier où vous consignez les réflexions qui guident votre action de recherche, au sein d'une équipe. Plus particulièrement, nous avons indiqué que ce cahier représentait votre *réflexion en action* et qu'il constituait une source d'informations utiles pour élaborer collectivement le rapport de recherche et participer, d'une manière avertie, aux débats-colloques.

---

* Cette deuxième règle n'a pu être appliquée qu'au premier colloque, compte tenu de la période de temps plus restreinte allouée au second colloque.

Le journal personnel, tout en étant relié à vos activités de recherche et de débats, comporte des dimensions nouvelles. D'une part, il s'agit d'un *travail personnel* régulier (toutes les semaines) et réalisé en dehors des heures de cours. D'autre part, il est une occasion de *réflexion*, cette fois, *sur notre réflexion en action*. Enfin, tout comme les débats, il peut être le lieu de confrontations et de discussions, à la différence que vous devrez vous-même remplir tous les rôles. Vous serez à la fois celui ou celle qui avance les idées, les développe et les argumente, en souligne les fécondités, comme les impasses, les confusions comme les clarifications, les trouvailles "chouettes" et les trouvailles "inquiétantes".

En fait, vous serez "juge" et "partie", responsable à part entière du déroulement des discussions entre vos idées, et de l'appréciation de ces discussions!

Il s'agit là d'un travail qui n'est pas toujours facile : bien sûr, chacun(e) de nous a fait l'expérience au moins une fois dans sa vie de réfléchir sur ses idées, ses croyances, ses projets, ses études. Nous sommes donc plus ou moins familiers et familières avec l'action de réfléchir sur nos actions. Mais cette réflexion sur l'action n'est pas nécessairement critique. On peut très bien se remémorer des situations de vie et le rôle qu'on y a joué, sans pour autant remettre en question la situation, ou notre façon de la comprendre et d'y agir, ou encore la compréhension et l'action des autres personnes. D'ailleurs, s'il nous fallait constamment remettre en question nos actions les plus quotidiennes, on serait un peu comme le mille-pattes qui se demande quelle patte il doit avancer d'abord. Il est cependant des cas où il est drôlement utile d'examiner de manière critique nos conceptions. Mais qu'entend-on par là?

L'une des premières caractéristiques d'une pensée dite critique s'illustre par la possibilité de fonder nos idées, c'est-à-dire en fournir les raisons. En d'autres termes, cela veut dire qu'on assume la responsabilité de nos idées, ce ne sont pas les autres qui pensent pour nous.

Une autre caractéristique renvoie à la souplesse de cette pensée. C'est dire alors qu'il s'agit d'une pensée sensible au contexte, aux circonstances et aux contraintes qui entourent la réalisation d'une action ou d'un comportement. Elle est ainsi à l'opposé d'une pensée rigide qui ne présente guère cette possibilité d'adaptation, de questionnement, et se satisfait, la plupart du temps, d'idées reçues, d'opinions toutes faites.

Mais toute pensée qui répond à ces deux caractéristiques est-elle pour autant critique? De notre point de vue, une pensée critique est aussi une pensée capable d'auto-critique, c'est-à-dire qui permet l'examen de ses fondements et de ses croyances. En deux mots : une pensée capable de se réfléchir elle-même.

Dans cette perspective, l'exercice de la pensée critique peut être une ressource pour l'action. En effet, savoir apprécier les différents éléments qui sont en jeu dans une situation ou ceux qui influencent notre pensée et nos activités d'apprentissage, peut nous permettre de comprendre que nos façons habituelles de connaître ne sont peut-être pas appropriées à toutes les situations et qu'il nous faut les transformer. C'est en ce sens que la pensée critique peut être une ressource. [...] Par ailleurs, de notre point de vue, il ne suffit pas de dire qu'elle est une pensée fondée et souple. Elle doit

aussi s'appliquer ce qu'elle prône et, notamment, interroger sa façon d'être critique et ... ses idées de connaissance.

C'est là tout un programme, celui d'une vie peut-être, et il peut prendre diverses formes. Parmi celles-ci, l'écriture présente plusieurs avantages que la seule réflexion orale n'a pas. En effet, on peut revenir sur un texte que l'on déjà écrit, y noter que l'on avait de bonnes idées, ou encore qu'avec le temps, on en a transformé certaines. On peut ainsi se rendre compte que ce que nous avions l'habitude de penser ne nous convient plus maintenant, ou encore que nous l'avons raffiné grandement. On peut aussi noter ce qui nous surprend, ce que nous ne comprenons pas, ce que nous avons de la difficulté à accepter ou ce qui nous préoccupe fondamentalement et les esquisses de solutions possibles.

En bref, l'écriture et, plus particulièrement, la réalisation d'un journal où l'on réfléchit sur nos réflexions et actions est une occasion de contrôle sur celles-ci et, surtout, de prise de conscience de leur évolution.

La production d'un journal animée par un tel processus de réflexivité (la réflexion sur la réflexion) est une tâche difficile pour les étudiant(e)s. Afin de les aider à surmonter «l'angoisse-de-la-page-blanche» et de stimuler leur réflexion, nous leur avons proposé, à quelques reprises, des mémos que nous avons conçus en relation étroite avec leurs activités et questionnements en cours de recherche. L'encadré ci-après illustre l'un de ces mémos qui leur a été remis à la suite du deuxième colloque qu'ils ont tenu.

MÉMO 8

Quand vous avez travaillé en privé (c'est à dire en équipe), vous avez pris des décisions "sur le tas", vous avez fait des erreurs, des détours, etc.

À la conférence publique, la plupart d'entre vous n'ont pas parlé de cela. Vous avez présenté vos travaux d'une façon linéaire, presque harmonieuse, comme si vous déroulez un tapis!

Il y a donc une façon d'exposer ses travaux qui n'est pas la même que celle qui consiste à réaliser ces travaux.

Lorsque les historien(ne)s des sciences étudient les travaux des scientifiques, ils et elles remarquent la même chose. Et peut illustrer cette distinction, ils et elles suggèrent les désignations suivantes:

- science privée (notes de laboratoire, etc.)
- science publique (conférences, articles, etc.)

Tentez d'illustrer cela à partir d'une réflexion sur vos travaux... privés et publics.

GROSSE IDÉE: **Aviez-vous déjà pensé qu'il pouvait exister une telle distinction?**
Vous semble-t-elle plausible?

6. L'orientation de nos interventions

Les difficultés qui jalonnent la mise en œuvre d'une telle stratégie dans le contexte réel d'une classe ne doivent pas être sous-estimées. Ne pensons qu'au fait que les étudiantiels ont plus de dix ans d'expérience scolaire, au cours de laquelle leur statut épistémologique d'apprenantiel a fait l'objet de peu de considération. Pensons aussi à la drôle de mise en pièces du savoir qui est souvent faite en milieu scolaire de même qu'à l'idée de vérité absolue qui y est souvent véhiculée. Dans ce contexte, quel a été notre rôle?

À peu de choses près, il a reposé sur le scénario qui suit. D'une part, nous avons veillé à la bonne marche des travaux de recherche, tout en nous assurant que les diverses équipes produisent des rapports dans lesquels elles fournissent des arguments pour justifier leurs explications. Par ailleurs, nous avons favorisé la tenue de débats autour des questions litigieuses entourant la plausibilité des modèles et des solutions proposés. Toutefois, nous n'avons pas agi en tant que juges et avons laissé les étudiantiels choisir un modèle, même si celui-ci pouvait être imposé par l'éloquence des porte-parole d'une équipe. La viabilité du modèle pouvait se révéler, après un moment douteuse, et les discussions reprenaient de nouveau. Il s'agit là d'une belle occasion pour aider, a posteriori, les étudiantiels à prendre conscience du fonctionnement de leur propre communauté de chercheuriels et des ressemblances de celui-ci avec le fonctionnement de la communauté scientifique officielle. Rappelons pour mémoire comment Pauling savait, par de véritables spectacles pédagogiques, convaincre ses collègues du bien-fondé de ses théories scientifiques, même si celles-ci comportaient des failles non négligeables, comme le rapporte Watson (1984).

Nous avons également joué le rôle d'épistémologues au sein de la communauté scientifique, en conduisant un questionnement qui a visé notamment à permettre aux étudiantiels de développer à la fois leurs compétences réflexives et d'argumentation, en s'interrogeant sur les dimensions suivantes:

- les postulats implicites qu'ils utilisent pour construire des explications «scientifiques», à la suite de la saisie de problèmes inédits (par exemple, le fait de prolonger les traces afin de déterminer un point d'impact sous le carré, laisse supposer que, sous le carré, les ennuis se déplacent en ligne droite);
- le caractère inévitablement construit des connaissances qu'ils élaborent, qu'il s'agisse de modèles iconiques ou autres («la carte n'est pas le territoire»);
- la possibilité de construire des explications qui ne peuvent être traduites sous la forme de modèles iconiques associés à l'imagerie concrète.

- la nécessité de formuler des argumentations cohérentes (postulats, résultats expérimentaux) dans la construction de leurs explications;
- le caractère intersubjectif du processus d'objectivation;
- et, enfin, le caractère inévitablement social de leurs productions, dans l'accomplissement de celles-ci tout comme dans leur reconnaissance au titre de solutions plausibles.

Ce questionnement a été aussi maintenu dans l'élaboration de nos commentaires sur le contenu des journaux (recueillis hebdomadairement). À titre d'exemple, si un(e) étudiant(e) écrivait que la science procédait essentiellement d'évidences, nous pouvions, selon le cas, l'inviter à clarifier ce qu'il entendait par là, ou lui présenter une anecdote «historique» qui permettait de poser le problème en question, ou encore suggérer des lectures sur le sujet. Dans certains cas, lorsque les étudiant(e)s demandaient explicitement plus d'informations et que celles-ci n'étaient pas disponibles sous une «forme concentrée», nous répondions par un court texte qui pouvait aller de la simple clarification à la présentation de points de vue contradictoires qu'il leur appartenait de traiter.

QUELQUES ÉLÉMENTS DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Nous ne pouvons évidemment pas dans les limites de cet article rapporter le détail du déroulement de la stratégie durant les douze semaines qu'a duré sa mise à l'épreuve. Nous nous en tiendrons donc à la présentation de quelques éléments relatifs au groupe d'étudiant(e)s, aux instruments de recherche et à l'analyse des matériaux.

La stratégie a été mise en œuvre dans le contexte d'un cours régulier de philosophie du collégial qui a pris pour l'occasion l'intitulé suivant : «Épistémologie et visions du monde : autour de l'idée de science». Trente-cinq étudiant(e)s*, dont la moyenne d'âge en janvier 1989 était de 17 ans et 8 mois, composaient le groupe-classe. Ils avaient en moyenne suivi six cours de science au secondaire et trois au collégial. Leurs programmes d'études étaient les suivants : sept étudiant(e)s étaient inscrits en sciences humaines, trois en technique, vingt en science et cinq ont noté qu'ils étaient en transition (c'est-à-dire en voie de changement de programme).

Le premier cours a été consacré entièrement à la présentation de la recherche et, comme l'avoueront plus tard nombre d'étudiant(e)s, celle-ci a suscité plusieurs interrogations. Cette présentation a été précédée par la passation d'un questionnaire qui visait à connaître, au début du cours, les points de vue «spontanés» des étudiant(e)s à

* Au début de l'expérimentation, le groupe comptait 42 étudiant(e)s mais 7 d'entre eux ont abandonné en cours de route. Nous ne connaissons pas les motifs associés à ces abandons, car ils étaient libres de mettre fin à leur participation selon les termes de la formule de consentement que nous leur avions proposée.

l'égard de l'idée de science et non pas à évaluer leurs connaissances formelles. C'est également ce même questionnaire que nous avons repris à la fin du cours, en lui ajoutant cependant des questions qui visaient à aider l'étudiant(e) à formuler son appréciation du cours et de son propre cheminement. Ils étaient également invités à évaluer nos «interventions» et nos «idées» pédagogiques et, comme ils l'avaient déjà fait à l'égard des travaux de leurs condisciples, à préciser si celles-ci pouvaient faire l'objet d'une subvention de recherche!

La présentation de la recherche et de la démarche pédagogique qui serait mise en œuvre a occupé les deuxième et troisième heures du cours. Les étudiant(e)s pouvaient suivre nos discours pas à pas, puisque ils avaient reçu un cahier comportant des textes sur chaque dimension que nous abordions. Le premier document précisait, entre autres, qu'ils seraient placés dans une situation pédagogique conçue pour susciter des changements conceptuels chez les participant(e)s et que cela pouvait, le cas échéant, être insécurisant. D'autre part, ils étaient prévenus que ce développement ou changement conceptuel porterait sur leur théorie spontanée de la connaissance scientifique. Enfin, ils étaient informés qu'au cours des semaines suivantes on simulerait certaines conditions de la production du savoir scientifique, en vue de les aider à réfléchir sur cette production tout comme sur leurs propres productions de connaissances. En bref, ils furent explicitement informés des tenants et aboutissants de la recherche et pouvaient se faire une idée de ce à quoi ils devaient s'attendre.

Nous leur avons également remis un plan de cours qui précisait les objectifs généraux du cours et les activités pédagogiques, notamment le déroulement, les travaux requis et le mode d'évaluation. Par la suite, nous avons expliqué l'usage des divers outils que nous avons fabriqués pour la démarche pédagogique et la recherche elle-même, soit le cahier de laboratoire, le rapport de recherche et les débats-colloques et le journal personnel. Enfin, nous les avons invités à lire attentivement la formule de consentement, et à nous informer de leur décision dans les jours suivants, après y avoir bien réfléchi (une seule étudiante, pour des raisons personnelles, a choisi de la remettre à la toute fin de la recherche, préférant jauger de la valeur de celle-ci avant de donner son accord, ce qu'elle fit d'ailleurs!). La simulation pouvait donc débuter!

La recherche en milieu scolaire est pleine d'imprévus et, dès la première séance au laboratoire, le système électrique du collège flancha, ce qui eut comme résultat de faire augmenter l'impatience des étudiant(e)s (et celle des chercheur(e)s) qui étaient fort curieux de travailler à l'ordinateur et de faire connaissance avec l'Énigmatique. La période d'initiation à l'usage technique du logiciel étant des plus faciles, les équipes furent rapidement plongées dans l'activité de recherche, ses grandeurs et ses misères.

C'était le début d'un long processus au cours duquel, malgré des phases de découragement et d'incertitude qui alternaient avec des phases d'enthousiasme et d'assurance, les étudiantels ont su apprivoiser cette activité de production et mener à terme une expérience de réflexion intense sur leurs propres productions de connaissances, comme en témoignent leurs écrits (notons que les mémos que nous improvisions selon notre compréhension de leurs processus réflexifs se sont révélés utiles pour les aider dans cette tâche). Après deux recherches et deux colloques, la plupart d'entre eux étaient prêts à poursuivre l'expérience qui leur permettait non seulement de comprendre le procès de la production scientifique, mais aussi leur propre procès de production dans ses dimensions privée et publique. En somme, comme nous le verrons lors de la présentation des résultats, la stratégie du dérangement épistémologique semble faisable et prometteuse. Avant de commenter ces résultats, deux mots sur les instruments de cueillette et l'orientation analytique.

Instruments de recherche

Même si notre préoccupation centrale était l'examen de l'éventuelle complexification conceptuelle de l'idée de production de connaissance des étudiantels, via l'étude de leurs productions écrites, nous avons également utilisé un questionnaire au début et à la fin du cours. Les questions étaient inspirées d'une recherche récente que nous avons effectuée sur l'épistémologie spontanée des adolescentels (1989). Mais, de manière générale, le journal qu'ont produit les étudiantels est incontestablement la source de matériaux la plus importante.

En effet, nous pouvons y observer la complexité des avenues par lesquelles les étudiantels ont réfléchi sur leur production de connaissances et celle dite scientifique. Peut-on retracer des cheminements typiques? Des obstacles cognitifs qui en marqueraient le déroulement? Comment les dimensions affective et cognitive de ces processus semblent-elles interagir? Quels sont les thèmes généraux et particuliers qui ont retenu l'attention des étudiantels? Ont-ils été sensibles aux aspects construit et négocié du savoir? Voilà quelques-unes des questions qui ont guidé notre prise de connaissance de leurs productions.

Par ailleurs, Vasco Moretto, étudiant au doctorat sous notre supervision, a décidé d'explorer dans sa thèse si le développement d'une méta-réflexion sur la production du savoir scientifique contribuait à l'interprétation que font les étudiantels des produits de cette production. Plus particulièrement, au cours d'entrevues individuelles avec 17 d'entre eux, il s'est intéressé à leurs représentations des concepts d'atome et de matière avant et après la mise en œuvre de ladite stratégie... qui ne porte pas sur ces concepts.

Enfin, nous avons utilisé deux autres sources d'informations, soit les rapports de recherche produits par les étudiantes et nos propres notes de terrain que nous confrontions après chaque cours. Toutefois, dans cet article, nous nous limiterons aux résultats issus de notre analyse des journaux.

L'ORIENTATION DE L'ANALYSE

À la suite de différents découpages des discours recueillis, nous avons opté pour une analyse essentiellement centrée sur les processus cognitifs mis en œuvre par les étudiantes pour établir un rapport d'appartenance avec l'objet du cours. En effet, nous avons d'abord effectué un découpage des matériaux selon les objets de réflexion ou d'attention qui marquaient les discours puis nous les avons soumis à la technique d'analyse comparative et constante (Larochelle, 1984; Glaser & Strauss, 1970). Intéressantes, ces opérations ne nous ont cependant pas permis d'atteindre ce pour quoi elles étaient conçues. Les objets de discours étaient tellement reliés entre eux, qu'en tracer les frontières donnait lieu à une réduction de leur signification non négligeable. Toutefois, s'interroger sur la fonction de ces objets dans le discours semblait plus prometteur, ce que nous fîmes. Cela nous permit de repérer les différents processus de cognition, depuis la clarification simple à la dialectisation, à partir desquels les objets de discours prenaient relief et sens. En d'autres termes, cela nous permit non seulement de mettre en évidence ce dont les étudiantes ont parlé mais aussi comment ils en ont parlé. Dans la prochaine section, nous présentons quelques résultats issus de l'analyse des journaux et qui portent essentiellement sur les deux processus principaux qui marquent ces journaux, soit les processus de clarification épistémologique et de restructuration.

QUELQUES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Il nous faut d'abord préciser que la présentation qui suit est une illustration qui vise à rendre compte des principaux objets autour desquels les étudiantes ont articulé leurs réflexions. En ce sens, cette présentation doit être prise pour ce qu'elle est : une indication et non une démonstration.

De quoi ont-elles parlé?

Afin de caractériser les discours recueillis, nous avons, dans un premier temps, procédé au repérage des objets de réflexion autour desquels ces discours s'élaborent

Vérité, certitude, évidence, objectivité, métaphore, postulats, sentiment de compétence ou d'incompétence, angoisse devant l'inconnu, réactions d'agacement ou, au contraire, de plaisir à nos questionnements incessants, voilà quelques-uns des objets-types qui marquent ces discours et à partir desquels les étudiantiels ont réfléchi à leurs idées de science et de production scientifique. Mais comment y ont-ils réfléchi?

En règle générale, cette réflexion prend forme selon deux processus qui ne sont pas par ailleurs exclusifs. Un premier processus, que l'on pourrait caractériser comme étant une clarification épistémologique, consiste essentiellement en une re-définition par les étudiantiels des concepts qui sont couramment associés à l'entreprise scientifique ou à leur propre entreprise de production. En fait, tout semble se passer comme si les étudiantiels s'expliquaient le concept en cause. L'énoncé qui suit illustre bien ce processus, tout comme il témoigne d'une restructuration de la signification antérieurement accordée au concept dont il est question:

> Je croyais tout savoir sur la production de connaissances scientifiques et plus le cours avance, moins j'ai l'impression que j'en connais, plus je découvre de choses dont je n'imaginais même pas qu'elles puissent exister. La notion que j'ai certainement le plus remise en question est l'objectivité. Dans mon premier [journal], je voyais l'objectivité comme une absence de subjectivité et de la façon que je la décrivais, il n'y avait que les ordinateurs qui auraient peut-être pu atteindre un seuil acceptable d'objectivité, puisqu'elle était rattachée de très près à l'élimination de tout sentiment et émotion. Maintenant, je rapproche beaucoup le concept d'objectivité de la capacité d'entretenir une bonne communication avec d'autres chercheurs et de remettre constamment en question ses propres points de vue et méthodes de travail. (8-12)

Un second processus, qui semble constituer l'orientation dominante des discours et sur laquelle nous allons nous pencher plus longuement, procède de la relecture et de la transformation que les étudiantiels ont effectuées certes des différents concepts associés à la production scientifique mais surtout à l'égard de leur propre statut d'apprenant(e). Nous le désignons sous l'appellation de restructuration.

En effet, la remarque la plus générale que l'on peut faire à la suite de ces opérations analytiques, est que pour réfléchir à leur idée de science et de production scientifique, la plupart des étudiantiels se sont attardés à l'examen de leur propre statut de sujet connaissant: celui qu'on leur accorde généralement,

> ... je dois répondre aux exigences de la matière et du professeur. Si, par contre, je m'opposais à ce qu'il exige, alors je me verrais arrêter dans mon cheminement scolaire. Je ne passerais pas, donc je recommencerais. (5-2, 1).

celui qu'ils ont intériorisé et qui est plutôt dépréciatif de leurs compétences.

> Un de mes professeurs de science nous a expliqué un «principe» en nous disant pour commencer : «Je ne sais pas pourquoi c'est ainsi, je ne peux pas vous l'expliquer mais croyez-moi.» Était-ce prudent de le suivre les yeux fermés sans poser de questions sur la nature ou les raisons de l'existence de ce principe? Je ne crois pas. Pourtant personne n'osa répliquer et tout le monde le crut. Personne ne savait pourquoi. (...) Il s'est servi de son autorité, sa «supériorité» pour nous faire valoir la validité de ce qu'il disait. (S-15: 7).

> ... les cours de sciences sont tout programmés et dessinés d'avance. C'est-à-dire que, lorsqu'on fait une expérience quelconque dans n'importe laquelle des sphères des sciences, nous sommes toujours en face d'une recette ou d'un plan d'expérience que nous devons suivre à la lettre si nous voulons arriver aux résultats escomptés. Cette pratique fait de nous de parfaits petits robots qui sont récompensés par des points sur un bulletin. (S-21: 11).

et celui qu'ils ont découvert en cours de recherche.

> Cela peut paraître ridicule à première vue, mais bien que je suis en sciences je n'ai jamais eu vraiment l'occasion de donner mon opinion. J'ai appris à appliquer des «théories scientifiques» sans jamais me demander s'il pouvait exister autre chose de plus sensé. Par l'intermédiaire de ce cours, les rôles ont changé, c'est à mon tour d'expliquer certains phénomènes. ... de pouvoir enfin exploiter toutes (mes) ressources afin d'accomplir un projet personnel et non arriver à une réponse toute trouvée et écrite à la fin du manuel. (S-1: 2).

Si cette découverte n'a pas été sans heurts ni même grincements affectifs, car c'était plutôt déroutant, comme dit l'une, de n'avoir pour toute réponse à nos questions que d'autres questions (S-18), elle semble cependant stimulante et contribuer à l'édification d'une idée de connaissance moins figée.

> J'ai réalisé que ma façon de connaître était «classique» on m'explique quelque chose on me dit : c'est ça, avec bien sûr des preuves. J'assimile sans trop me poser de questions et je remets tout identique sur le papier. Avec cette expérience, on apprend à fonctionner autrement. J'avoue qu'au début j'aurais donné n'importe quoi pour avoir un cours classique! J'ai appris que la connaissance c'est beaucoup plus un questionnement que du bourrage de crâne. (S-9: 14).

Pour certains étudiants(es), elle leur aurait même permis d'accroître avec succès leur marge de manœuvre d'apprenantiel.

> Je peux affirmer que la recherche a été bonne du côté de mon comportement dans les cours. Je suis plus critique vis-à-vis des professeurs, je me pose plus de questions et je leur tiens tête quand je sais que j'ai raison (mon professeur de chimie a dû avouer qu'il avait tort dans une de ses explications

> après que je l'ai obturée). Je mets souvent mes croyances, mes postulats en doute pour pouvoir avancer dans ma recherche et quelquefois ça m'aide (S-31 : 9)

Pour d'autres, elle les aurait sensibilisés à l'importance de maintenir une certaine vigilance cognitive :

> ... la plus importante découverte fut pour moi lorsque je me suis rendue compte que j'avais une grande facilité à accepter ce que les autres me disaient. Surtout lorsque j'entendais mes professeurs de chimie et de physique qui expliquaient des phénomènes. C'est rare que l'on peut les voir nous expliquer d'où cela vient et pourquoi c'est ainsi. Ils répètent ce qui est écrit dans les volumes et c'est tout. Avant je ne me préoccupais pas de cela. Et maintenant je le fais. (S-23 : 10)

Pour la majorité des étudiantiels, cet examen de leur statut cognitif procède de leurs propres activités de recherche et de la prise de conscience graduelle du caractère construit des connaissances, que ces activités suscitent. Ainsi, la compréhension de «l'importance de postuler et de supposer» (S-2) semble être à l'origine de cette prise de conscience pour quelques-uns. Le long extrait qui suit illustre bien cet aspect, de même que le «ludisme» cognitif qu'il a entraîné, aux dires mêmes de son auteure qui souligne que, «les différents concepts et leurs relations et interactions devenaient complexes mais amusants» (S-3 : 10) :

> Au cours de la recherche, plein d'idées nous sont venues en tête. Pour chaque idée, il fallait avoir de la suite dans les idées et de la logique. Si l'on décidait que les entités émises se comportaient comme des rayons lumineux, il fallait, du même coup, supposer que ce qu'il y avait derrière le rectangle opaque devait être fait de matière réfléchissant la lumière. Par contre, si l'on supposait que ce qu'il y avait derrière le carré opaque n'était pas nécessairement fait de matière réfléchissant la lumière, il fallait alors trouver une autre nature aux entités. Il fallait toujours faire le lien entre la nature des entités et celle de ce que l'on supposait y avoir derrière le rectangle opaque. Mais il devenait encore plus difficile de s'entendre et de s'arrêter à une conclusion finale si l'on extrapolait. On pouvait aussi s'arrêter sur les entités seules. On pouvait supposer qu'il n'y avait rien derrière le rectangle opaque, alors la nature des entités devenait particulière. On pouvait, dans ce cas, donner la vie aux entités et supposer qu'elles se comportaient de façon régulière, de manière à créer l'impression d'un quelconque objet derrière le rectangle opaque, en lui donnant une allure, une forme. Mais toujours en complétant les entrées et les sorties des entités. En allant plus loin, si on leur donnait de la vie, on pouvait discuter, d'instinct, ou de réelle intelligence, qui sait? (S-3 : 9)

De manière générale, il nous semble ainsi plausible de penser que les étudiantiels, à leur façon, ont expérimenté l'une des propositions centrales du constructivisme, à savoir que pour connaître, il faut déjà connaître!

... pour que je puisse dire le type de phénomène auquel nous faisions affaire, il fallait d'abord que j'ai eu certaines connaissances sur le sujet. De sorte que lorsqu'on se fait poser une question de ce type, on pense tout de suite à ce type de phénomène. L'origine des idées qu'on a vient donc des connaissances qu'on a eues. [...] Il faut avoir eu des connaissances pour avoir des idées et pouvoir observer! (S-30 : 5)

Pour d'autres étudiant(e)s, cette prise de conscience aurait été favorisée par le retour réflexif sur ce qu'ils appellent «leurs erreurs». De fait, pour la plupart d'entre eux, ces «erreurs», initialement conçues comme la manifestation de failles personnelles, en viennent à être comptées comme des détours, voire des changements de cap inévitables qui comportent d'ailleurs des avantages à ne pas sous-estimer : ils permettent, entre autres, d'éviter l'enfermement dans une seule avenue de recherche.

Dans notre recherche, ce sont mes erreurs qui m'ont fait avancer. Si je n'avais eu que des réussites d'un seul coup, mon travail aurait probablement été erroné du début à la fin puisque j'aurais supposé une solution unique qui après quelques expériences aurait confirmé cette supposition puisque je n'aurais pu exploiter les autres chemins possibles et peut-être meilleurs. (S-1 : 11)

Pour l'une, qui s'est longuement attardée à commenter cette dimension de la production de connaissance, ces détours, même s'ils conduisent à des impasses, n'en sont pas moins porteurs d'informations qui ajoutent à l'expertise d'une équipe de recherche.

Les erreurs et les détours, ce sont ces éléments qui nous conduisent à des résultats. Il est clair que lorsque les travaux privés sont une recherche, celle-ci doit contenir des erreurs et des détours de la part des chercheurs. S'il n'y avait pas d'erreurs, de détours, il n'y aurait pas de recherche car l'on connaîtrait le résultat et si une réponse, un résultat nous étaient donnés, les détours et les erreurs seraient automatiquement éliminés. ... Mais si une équipe se compare avec une autre (car pour vérifier les résultats, c'est la seule façon car personne ne connaît les réponses) et qu'ils obtiennent les mêmes résultats, ils risquent fort bien d'avoir emprunté les mêmes étapes. On peut alors vérifier s'il y a eu de détours, des cheminements inutiles réalisés par une équipe. Mais, encore là, on peut prendre cela dans un autre sens. On pourrait dire aussi que l'équipe qui a pris le plus grand nombre d'étapes (détours) pour parvenir à un résultat final, est mieux placée que l'autre. Ces détours ou erreurs peuvent être considérés comme des données supplémentaires à la recherche, des preuves, des vérifications. (S-2 : 25)

Enfin, pour quelques étudiant(e)s, ce sont plutôt les débats entre équipes qui les ont incités à réviser leurs comportements de recherche et à y déceler une «erreur» d'économie cognitive, si l'on peut dire. En effet, selon leurs dires, c'est la généralisation de leurs habitudes de connaissance à une situation-problème qui dépasse celles-ci, qui les a conduits à sous-estimer les termes mêmes du problème.

> Je crois que les conclusions que nous avons amenées étaient trop basées sur les observations. C'est sûr que c'est important de ne pas être en conflit avec les observations mais je pense que nous y avons consacré tout de même trop de temps. Nous aurions du analyser plutôt le comportement des «lignes» qui sortaient des diffuseurs. Une autre chose oubliée, c'est l'étude de la «ligne diagonale trouée». Cette «diagonale» aurait pu être beaucoup de choses, mais nous nous sommes simplifiés la tâche en la définissant comme quelque chose qu'on voit régulièrement. Nous avons restreint nos possibilités en évitant d'aller au-delà des réalités habituelles. (S-34 : 9)

En somme, si l'on revient aux préoccupations initiales de notre recherche, soit initier les élèves aux jeux et enjeux du savoir scientifique et de sa production, que pouvons-nous conclure, de manière provisoire, quant à la pertinence et à la faisabilité de la stratégie de dérangement épistémologique?

De prime abord, cette stratégie nous semble pertinente et faisable. Elle est pertinente notamment puisque les étudiant(e)s transforment leur idée de connaissance via la transformation de leurs représentations de leur propre statut d'apprenant(e): ils ne sont pas que des re-producteurs mais aussi des producteurs de connaissance. Elle est aussi faisable puisque cette transformation a pris forme à l'intérieur des contraintes scolaires habituelles. En corollaire à ces aspects, nous pouvons aussi penser que s'ils ont ainsi transformé leurs représentations, c'est peut-être dû au fait qu'il y aurait des prolongements entre leurs champs de préoccupation et les champs d'intérêts sur lesquels repose ladite stratégie. En guise de conclusion, nous présentons un extrait de discours qui tend à montrer que la parenté des processus que les étudiant(e)s établissent entre la production de connaissances scientifiques et leur propre production contribue au développement d'une représentation plus avertie et beaucoup moins fataliste de l'une et de l'autre:

> J'avoue que je n'ai jamais vraiment pensé au processus de production du moins jusqu'à maintenant. Mais je crois que c'était plutôt genre: inspiration du ciel! J'ai vite perdu cette version simpliste du processus de production. Mon idée de la science a vraiment évolué depuis le début des cours. Pour moi, j'ai toujours cru que les chercheurs scientifiques étaient des génies à l'intelligence 2 ou 3 fois plus grande que la mère. Mon idée était qu'ils se levaient un bon matin en disant aujourd'hui «J'ai à résoudre ce problème». Ils produisaient alors des connaissances scientifiques. Mais, d'après mes propres expériences, j'ai réalisé que ce n'était pas du tout comme ça. Il faut travailler et faire de l'essai et erreur, c'est en travaillant très fort que l'on arrive à quelque chose. (S-9 : 13)

NOTES

1 Nous utilisons l'expression «idées spontanées» afin de souligner l'ambiguïté du caractère spontané de ces conceptions, qui signifierait toute connaissance élaborée avant et/ou en marge d'un enseignement formel. L'apprentissage dans le milieu familial et culturel est-il plus ou moins spontané que celui qui s'effectue en milieu scolaire? Par ailleurs, notre usage de cette expression permet également d'attirer l'attention sur le fait que d'autres désignations telles préconceptions, proto-concepts, conceptions erronées (misconceptions) sont également utilisées dans ce domaine de recherche, et font référence à des orientations théoriques différentes, parfois même antagonistes. L'excellent article de Gilbert et Watts (1983) nous semble bien résumer la question et poser les problèmes didactiques qui en émergent.

2 Nous empruntons cette distinction à Albert Morf, in Larochelle & Désautels (1987).

3 Une attitude réflexive est nécessairement interrogative puisqu'elle porte sur les postulats et les présupposés qui orientent plus ou moins consciemment la pensée. En ce sens, elle se distingue de l'usage habituel du concept de métacognition qui renvoie plutôt aux procédures et stratégies cognitives utilisées généralement en contexte de résolution de problèmes.

4 Comme ce dernier aspect fait l'objet d'une thèse de doctorat en cours (Vasco Moretti), nous n'en traitons pas dans ce document.

5 Le concept de complexité que nous utilisons fait référence aux systèmes auto-organisateurs caractérisés, entre autres, par des processus récursifs qui assurent la production des produits et des processus qui sont nécessaires au maintien de leur organisation (voir aussi Segal, 1986; Maturana & Varela, 1987).

6 Nous empruntons l'expression à Jean Piaget qui, selon nous, a toujours maintenu qu'il avait élaboré une théorie du développement intellectuel et non pas une théorie d'apprentissage. Par ailleurs, il s'est également toujours opposé à l'idée selon laquelle le problème du développement des connaissances chez les individus ne relevait que de la mise en œuvre d'opérations logico-mathématiques, et ce, même chez les adultes, comme l'illustre l'extrait suivant:

> «Après l'adolescence, quand les structures logiques fondamentales qui vont constituer les instruments de base de son développement cognitif ultérieur sont déjà développées, le sujet dispose, en plus de ces instruments, d'une conception du monde (Weltanschauung) qui conditionne son assimilation ultérieure de n'importe quelle expérience» (1983, p. 280).

7 Nous ne signifions pas qu'il y a un ensemble univoque de telles normes, ni qu'elles sont intemporelles et valables pour l'ensemble des sciences. De plus, nous ne pensons pas qu'il soit légitime d'utiliser les normes conçues pour et dans un domaine de connaissance en vue d'apprécier la valeur des connaissances dans d'autres domaines. Nous voulons plutôt mettre en évidence ici qu'en l'absence d'une réflexivité sur les fondements cognitifs des différents savoirs, on peut confondre les uns et les autres et interpréter le concept de chaleur des cours de science, par exemple, comme s'il s'agissait du même concept que celui de l'usage courant.

8 Nous tenons à souligner que le développement des systèmes complexes, dans le contexte d'interactions qui n'entraînent pas leur destruction et au sein duquel ils peuvent faire jouer leurs fonctions adaptatives, n'est pas prédictible au sens

classique du terme : on ne peut prévoir à partir de l'état A du système ce que sera son état B, étant donné les circonstances. Cette situation s'explique non pas en vertu du manque d'information sur l'état A, ce qui du reste est tout de même le cas quand il s'agit de l'histoire cognitive individuelle, mais plutôt à cause de l'indéterminisme caractéristique de ces systèmes qui sont par ailleurs sensibles aux conditions initiales, selon l'expression de Prigogine et Stengers (1988). En conséquence, on ne peut plus penser dans les termes d'une pédagogie mécaniciste qui prétend à prévoir les effets individuels et détaillés d'une stratégie pédagogique. Toutefois, cela ne signifie pas l'absence d'attentes quant aux patrons observables dans un groupe d'élèves, à partir desquels on peut apprécier la pertinence d'une stratégie pour éventuellement la modifier. Ainsi, une pédagogie qui prend en compte la complexité du développement intellectuel ne conduit pas à une pédagogie sans direction, mais plutôt à une pédagogie de l'orientation, pour reprendre l'expression de Fischer (1989), soucieuse de comprendre les démarches intellectuelles des élèves. Nous y reviendrons.

9. Nous empruntons le concept de jeu de la connaissance à Allan (1986) qui en fait un développement beaucoup plus exhaustif.

10. Cela signifie précisément que les postulats et les règles du jeu peuvent être transformés par ceux et celles qui y participent, comme en témoigne, par exemple, l'histoire des sciences.

11. Selon nous, il est illégitime d'appliquer au sens commun, en tant que vision du monde, et à la connaissance commune, en tant qu'ensemble de savoirs discursifs et pratiques, les normes tirées d'une analyse épistémologique de la connaissance scientifique, sinon dans les termes d'une comparaison qui vise à préciser les différences et les ressemblances entre ces savoirs. Ainsi, on peut observer que la prédictibilité des phénomènes, habituellement associée au savoir scientifique, est aussi un critère épistémologique implicite du savoir commun dans ses visées pragmatiques. Par contre, on peut se demander si le critère de cohérence logique (inter et intra-théorique) s'applique également à la connaissance commune. Mais, en tout état de cause, cette opération de comparaison et d'analyse ne peut consister en une dévalorisation du sens commun, par exemple, au profit du savoir scientifique, l'un et l'autre étant mus par des intentions et des intérêts différents bien que partageant des plages communes : tous deux sont des savoirs construits qui procèdent de projets de connaissance à la fois collectifs et individuels. On peut certes remarquer que les phénomènes de la physique quantique sont difficilement compréhensibles dans les termes de l'expérience commune. Mais l'on se doit également de noter que la théâtralité de la vie quotidienne (Maffesoli, 1985; Goffman, 1974) ne peut être appréhendée dans les termes des « atomes crochus », sans les précautions d'usage que suppose une telle analogie.

12. Notons que cette évaluation ne peut être réduite à une sanction ; elle peut être envisagée dans les seuls termes de conduites précises. Comme le souligne Giddens (1987) dans un développement sur la reproduction des systèmes sociaux en rapport avec l'idée de règle, cette évaluation est également constitutive de sens, c'est-à-dire qu'elle exprime « quelque chose à propos de ce qui entre dans la constitution même » (Giddens, 1987, p. 69) du savoir (et du jeu) en cause. Enfin, comme la reproduction du savoir scientifique est une pratique sociale, son accomplissement et sa reconnaissance, pour paraphraser Giddens (1987, p. 67), s'effectuent en conjonction avec d'autres ensembles de règles, de ressources et de croyances. Les travaux en histoire et en sociologie des sciences fournissent d'informations sur le sujet qu'un Holton (1982), traitera dans les termes de facteurs scientifiques et extra-scientifiques alors qu'un Elkana (1987) mettra en évidence le rôle constitutif des images du savoir acceptées à une époque et dans un contexte donnés.

13 Les sources sur lesquelles nous nous sommes appuyées lors de la conception des outils de la stratégie sont nombreuses et variées et nous en présentons le détail dans le rapport de recherche. Toutefois, nous aimerions souligner l'apport des discussions que nous avons eues avec différents chercheurs/es en didactique des sciences (G. Aikenhead, K. Khun et I. Mitchell) et des mathématiques (F. Arsac, P. Cobb et T. Wood), qui, de surcroît, nous ont fourni tous les documents qu'ils avaient élaborés dans l'esprit de nos préoccupations. Nous avons également emprunté aux travaux de D. Schon et de M. Lipman. Enfin, nous tenons à remercier la direction du Centre d'enseignement et de recherche en informatique Clément Lockquell qui nous a permis d'utiliser des extraits du guide pédagogique que nous avons rédigé (Désautels, Lauzon & Larochelle, 1987) et qui accompagne le logiciel l'Enigmatique.

14 Cette nuance est importante car, dans la perspective constructiviste, pas plus qu'il n'existe de problème a priori, il n'y a d'énigme en soi. Il n'y a problème ou énigme que pour quelqu'un! C'est dire que l'un et l'autre procèdent d'un processus de définition, voire de théorisation, qui est redevable au sujet connaissant et à ses contingences. Il s'agit d'une opération intellectuelle ardue, peu familière aux étudiant(e)s, car il ne suffit pas d'exprimer un étonnement, lorsqu'une donnée contredit les attentes, pour conclure que cet étonnement est l'équivalent d'un problème ou d'une question de recherche. En effet, la position d'un problème doit permettre la continuation méthodique de son investigation et, dans les cas heureux, de sa résolution laquelle, inévitablement, soulève d'autres problèmes... pour quelqu'un.

OUVRAGES CITÉS

Astolfi, J.-P., Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris: Presses Universitaires de France.

Atlan, H. (1986). *A tort et à raison. Intercritique de la science et du mythe*. Paris: Éd. du Seuil.

Bachelard, G. (1975). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Éd. Vrin.

Bachelard, G. (1973). *La philosophie du non*. Paris: Presses Universitaires de France.

Balachefl, N. (1986). Cognitive versus situational analysis of problem-solving behaviors. *For the Learning of Mathematics*, Vol. 6, No. 3, 10-12.

Bateson, G. *Vers une écologie de l'esprit* (Tome 2). Paris: Éd. du Seuil, 1980.

Berger, P., Luckmann, T. (1986). *La construction sociale de la réalité*. Paris: Éd. Méridiens Klincksieck, coll. «Société».

Benyamin, S. (1987). *La prégnance du modèle particulaire dans les représentations d'étudiants en science à l'égard de phénomènes naturels*. Thèse de doctorat non publiée, Université Laval.

Brousseau, G. (1981). Problèmes de didactique des décimaux. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 2, No. 1, 37-127.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge (Mass.): The Massachusetts Institute of Technology.

Desautels, J., Anadon, M., Larochelle, M. (1988). *Le culte de la science. Les programmes d'enseignement des sciences en question*. Québec: Université Laval, Laboratoire de recherches sociologiques.

Desautels, J., Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec: Presses de l'Université Laval.

Desautels, J., Lauzon, B., Larochelle, M. (1987). *L'énigmatique, un logiciel pour l'enseignement des sciences*. Québec: Centre d'enseignement et de recherche en informatique. Clément Leclaquell.

Dillon, J. T. (9176). Using questions to depress student thought. *School Review*, Vol. 87, 50-63.

Elkana, Y. (1987). Alexandre Koyré: between the history of ideas and sociology of disembodied knowledge. *History and Technology*, Vol. 4, pp. 115-148.

Erickson, G., Driver, R. (1983). Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual framework in science. *Studies in Science Education*, No. 10, 37-60.

Geddis, A. N. (1988). *Using concepts from epistemology and sociology in teacher supervision*. *Science Education*, Vol. 72, No. 1, 1-18.

Giddens, A. (1987). *La constitution de la société*. Paris: Presses Universitaires de France, coll. «Sociologies».

Gilbert, J. K., Watts, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, Vol. 10, pp. 61-98.

Glaser, B. G., Strauss, A. L. (1970). 'Discovery of substantive theory: a basic strategy underlying qualitative research'. In W. J. Filstead (Ed.), *Qualitative Methodology. Firsthand involvement with the social world*. Chicago: Rand McNally College Publishing Company.

Glasersfeld, E. V. (1986). *Knowledge from a constructivist point of view*. Paper presented at the Moscow Institute for Systems Studies, Moscow, October.

Goffman, E. (1974). *Les rites d'interaction*. Paris: Éd. de Minuit.

Hewson, P. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: the influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, Vol. 4, No. 1, 61-78.

Hills, G. L. C. (1989). Students «untutored» beliefs about natural phenomena: primitive science or commonsense? *Science Education*, Vol. 73, No. 2, 155-186.

Holton, G. (1982). *L'invention scientifique. Thémata et interprétation*. Paris: Presses Universitaires de France, coll. «Croisées».

Kitchener, K.S. (1983). Cognition, metacognition and epistemic cognition: A three-level model of cognitive processing. *Human Development*, No. 26, 222-232.
Larochelle, M. (1984). *La pertinence et la faisabilité de la transmission d'une grille biopédagogique*. Thèse de doctorat non publiée, Université Laval.
Larochelle, M., Désautels, J. (1990) (à paraître). *La problématique du changement conceptuel dans l'apprentissage des sciences: théories et pratiques*. Rapport de recherche, Ottawa: Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.
Larochelle, M., Désautels, J. (1989). «*Of course, it's just obvious*»: *Adolescents ideas of scientific Knowledge*. A paper presented at the First International Conference on the History and Philosophy of Science in Science Teaching, Florida State University, Tallahassee, November.
Linn, M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 24, No. 3, 191-216.
Maffesoli, M. (1985). *La connaissance ordinaire: Précis de sociologie compréhensive*. Paris: Librairie des Méridiens, coll. «Sociétés».
Maturana, H., Varela, F.J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston: New Science Library.
Merchant, C. (1983). *The death of nature*. New-York: Harper and Row.
Mettioui, A. (1987). *Les représentations des enseignants/es du secondaire et du collégial à l'égard des théories atomiques*. Thèse de doctorat non publiée, Université Laval.
Morf, A. (1987). Postface. In M. Larochelle & J. Désautels, *Qu'est ce qu'une connaissance dite scientifique? Les modèles spontanés d'adolescents/es*. Montréal: Université du Québec à Montréal, Cahiers du C.I.R.A.D.E., No 24.
Morf, A. (1985). L'enseignement fait-il avancer les sciences? *Conjonctures et politique*, No 7, 131-140.
Morin, E. (1986). *La méthode: 3. La connaissance de la connaissance*. Paris: Éd. du Seuil.
Nadeau, R., Désautels, J. *Épistémologie et didactique des sciences*. Ottawa: Conseil des sciences du Canada, coll. «Exposé à débattre».
Piaget, J., Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris: Ed. Flammarion.
Prigogine, I., Stengers, I. (1988). *Entre le temps et l'éternité*. Paris: Éd. Fayard.
Resnick, L. (1989). Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique. In N. Bednarz & C. Garnier (sous la direction de), *Construction des savoirs: Obstacles & conflits*. Montréal: C.I.R.A.D.E. & Agence d'Arc Inc.
Ruel, F. (1990) (à paraître). *Représentations d'adolescents/es à propos de mouvements simples*. Rapport de recherche, Québec: Université Laval, Département de didactique.
Russell, T. (1983). Analyzing arguments in science classroom discourse: can teachers' questions distort scientific authority? *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 20, No. 1, 27-45.
Segal, L. (1986). *The dream of reality: Heinz von Foerster's constructivism*. New York, London: Norton.
Stengers, I. (1986). L'histoire des sciences et comment servir. *In Sens et place des connaissances dans la société*. Paris: Éd. du Centre National de la Recherche Scientifique.
Strike, K.A., Posner, G.J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, Vol. 4, No. 3, 231-240.
Strike, K.A., Posner, G.J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L.H. West & L.A. Pines (eds), *Cognitive structure and conceptual change*. New-York: Academic Press Inc.
The Author Groupe Inc. (1987). *Science, Technology, Society, Communication: Chemistry (3 vols.). Teachers' edition*. Edmonton: Karlann Publishers.

Viennot, L. (1989). Obstacle épistémologique et raisonnement en physique: tendance au contournement des conflits chez les enseignants. In N. Bednarz & C. C. Garnier (sous la direction de), *Construction des savoirs. Obstacles & conflits*. Montréal: C.I.R.A.D.E. & Agence d'Arc Inc.

Watson, J. *La double hélice*. Paris: Ed. Robert Laffont. 1984.

West, L.H., Pines, L.A. (eds) (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press Inc., 1985.

Ziman, J. (1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge (Eng.): Cambridge University Press.

Des exemplaires du présent document sont en vente à l'adresse suivante:

Centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage
et le développement en éducation
Université du Québec à Montréal
Pavillon Sainte-Catherine Ouest
518, rue Sainte-Catherine Ouest
Local X-7115

Case postale 8888, succursale A
Montréal (Québec)
H3C 3P8

Tél.: (514) 282-6186

Pour commander, remplir le formulaire de réquisition
apparaissant à la dernière page du document.

Publié par le Centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage
et le développement en éducation

Conception graphique: Pierrette Prévost